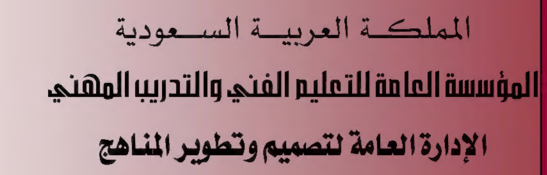
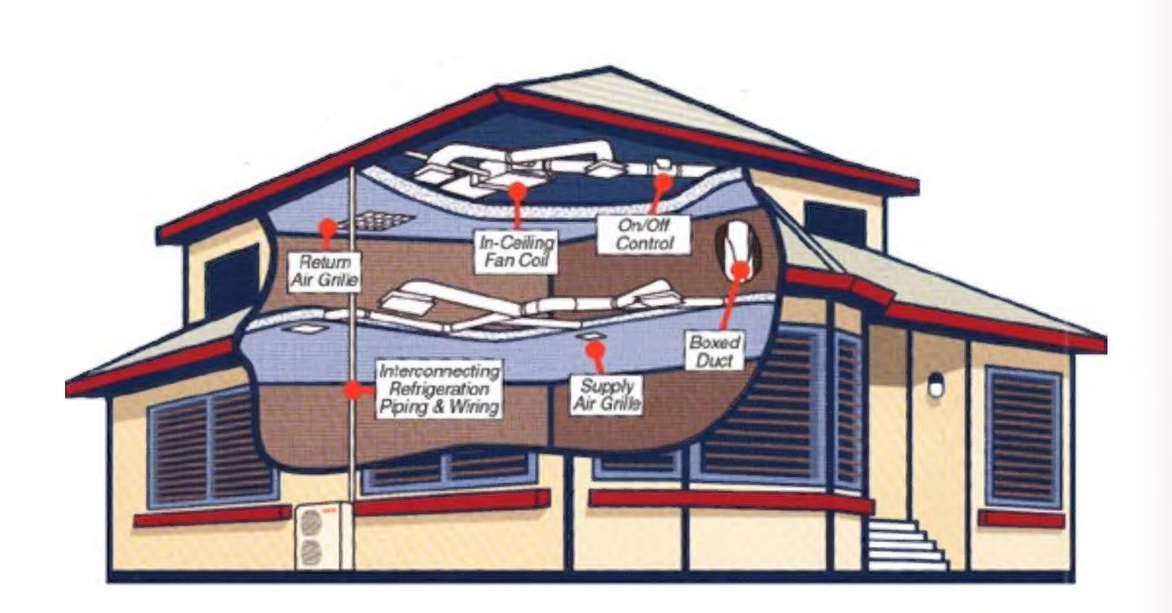




تبريد وتكييف

أساسيات تقنية التبريد والتكييف

١١١ برد



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجةً للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " أساسيات تقنية التبريد والتكييف " لمتدربي قسم" تبريد وتكييف " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

حقيبة أساسيات تقنية التبريد والتكييف تم وضعها لفنيي أول تبريد وتكييف والذين أتموا دراسة مقرر أساسيات علم الحراريات والموائع، حيث تتطلب دراسة هذه الحقيبة الإلمام بطرق انتقال الحرارة وحساباتها، كما تتطلب أيضا معرفة القانون الأول والقانون الثاني للديناميكا الحرارية مع معرفة دورة كارنوت المعكوسة. وتهدف هذه الحقيبة لإعطاء معلومات أساسية للطلاب الفنيين في هذا التخصص حيث روعي فيها البساطة وعدم التعقيد من خلال المعادلات البسيطة و الأمثلة التوضيحية ما أمكن ذلك.
أما محتويات حقيبة أساسيات تقنية التبريد والتكييف الجزء النظري فهي تحتوي على وحدتين تدريبيتين هما:

الوحدة التدريبية الأولى بعنوان أساسيات تقنية التبريد (نظري) وهي تتكون من ثلاثة فصول: الفصل الأول يتناول خرائط وجداول وسائط التبريد، والفصل الثاني يُعنى بدورة انضغاط البخار البسيطة، أما الفصل الثالث فقد تم تخصيصه للتعرف على بعض وسائط التبريد المستخدمة.

الوحدة التدريبية الثانية عن " أساسيات تقنية تكييف الهواء (نظري)". وهذه الوحدة مكونة من فصلين فقط. الفصل الأول عن الخريطة السيكرومترية والعمليات السيكرومترية المختلفة، والفصل الثاني عن " الأحمال الحرارية (تبريد وتسخين)".

وخلال الشرح للوحدتين السابقتين تم إعطاء أمثلة محلولة في كثير من الأحيان كما تم وضع أسئلة للطلاب عند نهاية كل فصل من هاتين الوحدتين ليتدرب عليها الطلاب وذلك حتى يتسنى لهم معرفة مدى استيعابهم للمادة.

ونتمنى من المولى عز وجل إن نكون قد وفقنا فيما قد يفيد أبناءنا الطلبة والله الهادي إلى سواء السبيل.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



أساسيات تقنية التبريد والتكييف

أساسيات التبريد

أساسيات التبريد

١

مقدمة

بدأ نظام التبريد بالثلج في القرن الثامن عشر الميلادي وذلك بقطع ألواح من الثلج عند فصل الشتاء وتخزينها في صناديق معزولة حتى يحين وقت استعمالها في فصل الصيف. وفي العام ١٩١٨م، أنتجت كليفانيتور Kelvinator أول ثلاجة أوتوماتيكية في الأسواق الأمريكية. وفي العام ١٩٢٧م بدأت صناعة التجميد السريع لحفظ الأغذية. تطورت صناعة التبريد بعد ذلك وأصبح يستعمل في عدة مجالات منها:

- التكييف
- تجميد، حفظ، نقل وصناعة الأغذية.
- صناعة الأدوية، حفظ الدم (بنوك الدم) والاستعمالات الطبية المختلفة.
- صناعة البلاستيك، المطاط الصناعي... إلخ .
- صناعة الورق، النسيج، تقسية الحديد... إلخ.

ويعتمد عمل نظام التبريد على نقل الحرارة من المستوى الذي يكون عند درجة حرارة منخفضة إلى المستوى الذي عند درجة حرارة عالية؛ عليه يتطلب بذل شغل لإتمام هذه العملية – حسب القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

عادة ما يكون نظام التبريد نظاما مغلقاً وهذا يسمح بما يلي:

- عدم تلوث وسيط التبريد للهواء الخارجي.
- إبعاد الهواء والرطوبة عن دائرة التبريد.
- التحكم في معدل سريان وسيط التبريد.

وللتعرف على أساسيات تقنية التبريد، وبطريقة مبسطة جدا تناسب مستوى طلاب فنيي التبريد، فقد تم عرض هذا الموضوع في وحدة تدريبية تحتوي على ثلاث فصول:

الفصل الأول من هذه الوحدة التدريبية يتناول الأساسيات لمحتوى الجداول المستعملة في وسائط التبريد من حيث كمية طاقة الإنثالبي والحجم النوعي عند أحوال تغير الطور كما يتناول هذا الباب خرائط الإنثالبي والضغط (p-h) لبعض وسائط التبريد المعروفة مع التوضيح ببعض التمارين الحسابية.

الفصل الثاني من هذه الوحدة يتطرق إلى أداء دورة التبريد البسيطة والحقيقية مع بيان بعض العوامل التي تؤثر على أداء دورة التبريد من حيث كفاءة الأداء (COP) والتأثير التبريدي وشغل الضاغط. أيضا توجد بعض التمارين خلال العرض لهذه الموضوعات.

الفصل الثالث من هذه الوحدة يتعرف على الخصائص الفيزيائية والديناميكية والتركيب الكيميائي لبعض وسائط التبريد واستعمالاتها عند مختلف أحوال التبريد وكذلك التأثيرات البيئية لوسائط التبريد والاتفاقيات العالمية التي تنظم التخلص التدريجي من بعضها واستخدام وسائط تبريد أخرى آمنة لطبقة الأوزون.

الجدارة: معرفة أسس ومكونات دوائر التبريد البسيطة والحقيقة.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- رسم العلاقة بين درجة الحرارة والضغط.
- معرفة الخطوط المختلفة في مخطط p-h وكيفية قراءة خواص المتغيرات.
- معرفة مكونات دائرة التبريد.
- رسم الحالة (p-h) والرسم التخطيطي لدوائر التبريد.
- القيام بالحسابات البسيطة لدوائر التبريد.
- معرفة العوامل التي تؤثر على أداء دورة التبريد.
- معرفة الخصائص الفيزيائية، الكيميائية، الحرارية والبيئية لوسائط التبريد التقليدية والمتجددة وكيفية كشف التسرب عليها مع معرفة أثر النداوة عليها.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة ١٠٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

١٤ ساعة تدريبية.

الفصل الأول : جداول وخرائط وسائط التبريد

التبريد يُعنى بالدرجة الأولى بالمادة والطاقة. المادة تتواجد في ثلاث عناصر، عنصر المادة الصلبة والسوائل والغازات. من الناحية الأخرى يعبر عن الطاقة بأنها القدرة على إنجاز عمل ما. وجميع عناصر المواد تتكون من جزئيات صغيرة تتأثر بالضغط ودرجة الحرارة والتي يمكن عن طريقيهما تحويل المادة من عنصر إلى آخر حسب ترابط جزئيات المادة وكمية الطاقة المبذولة على المادة نفسها.

درجة الغليان والضغط

يمكن تقسيم أحوال المادة إلى ثلاث أحوال هي:-

- حالة الصلابة solids .
- حالة السيولة liquids .
- الحالة الغازية gases .

ويمكن القول بأن المواد الصلبة غير قابلة للانضغاط incompressible بينما السوائل (liquids) صعبة الانضغاط relatively incompressible أما الغازات فهي قابلة للانضغاط حيث تَتْبَعُ كثير منها القانون العام للغازات:-

$$pV = mRT$$

حيث إن:

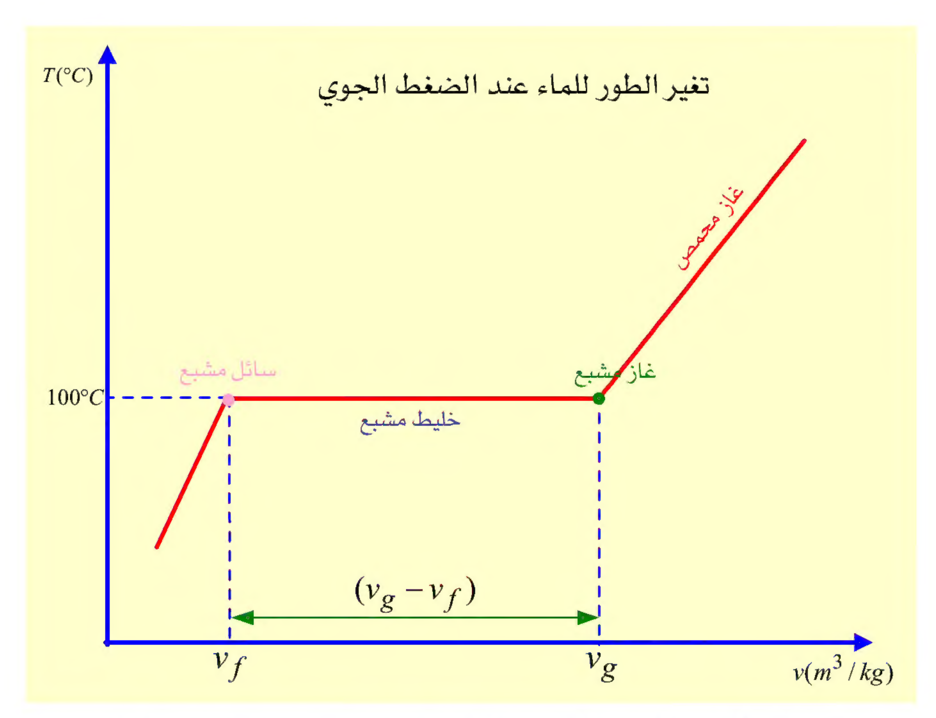
ضغط الغاز	p = {Pa }
حجم الغاز	V={ m^3}
كتلة الغاز	m ={ kg }
درجة الحرارة المطلقة للغاز	T= {K }
ثابت الغاز	R={J/kg K}

والحالات الأكثر شيوعاً لتغير المادة من طور إلى آخر يمكن تلخيصها في الآتي:

الطور	الاسم	مثال
حالة الصلابة – حالة السيولة	الانصهار melting	تحول الثلج إلى ماء
حالة السيولة – الحالة الغازية	الغليان boiling	تحول الماء إلى بخار ماء
الحالة الغازية – حالة السيولة	التكثيف condensation	تحول بخار الماء إلى ماء
حالة السيولة – حالة الصلابة	التجمد freezing	تحول الماء إلى ثلج

جدول (١ – ١): أحوال المادة

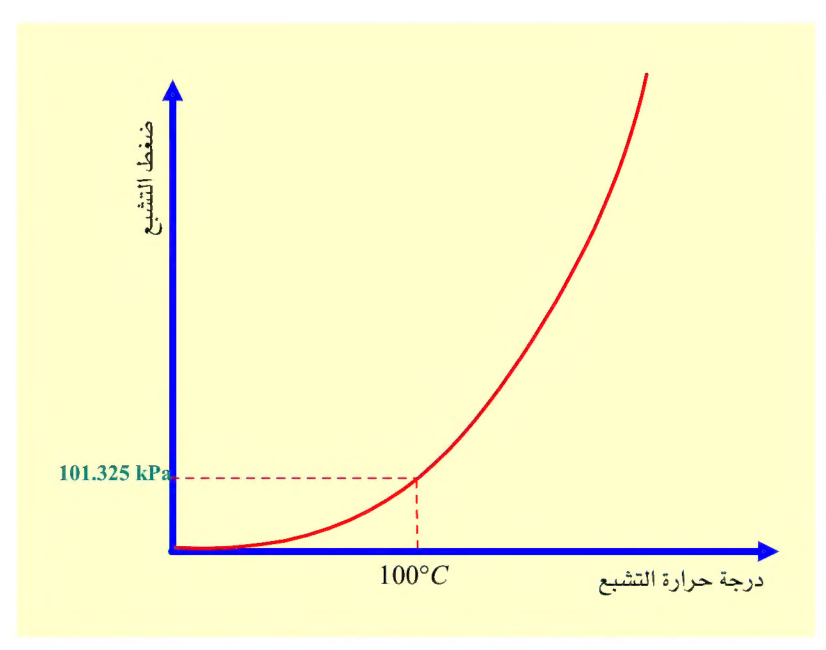
والرسم الت إلى يوضح حالة تغير الطور بالنسبة للماء مع زيادة درجة الحرارة عند الضغط الجوي.



شكل (١ – ١): علاقة درجة الحرارة مع الحجم النوعي للماء

ويلاحظ في هذا الرسم إنه في حالة غليان الماء (تغير الطور) فإن درجة الحرارة تظل ثابتة وتعرف كمية الحرارة هذه بالحرارة الكامنة (latent heat) وهي الحرارة اللازمة لتغير كتلة مادة ما من طور إلى آخر دون زيادة في درجة الحرارة وهذه الحرارة لا يمكن قياسها عن طريق الثيرمومتر thermometer بينما

يلاحظ التغير في الحجم النوعي مع زيادة درجة الحرارة. كما يلاحظ الزيادة في الحجم النوعي في كل الأحوال. غير ذلك فإن زيادة الضغط يصحبه زيادة في درجة الحرارة كما يلاحظ في الشكل التالي:



شكل (١ – ٢): علاقة ضغط التشبع مع حرارة التشبع للماء

هذا الشكل ينطبق على كثير من السوائل وخاصة وسائط التبريد عند مختلف درجات الحرارة.

مما سبق يمكن استخلاص الآتي:

- عند تغير الطور(الغليان مثلاً) تكون درجة الحرارة والضغط ثابتين بينما يتغير الحجم النوعي.
- تعرف الزيادة في درجة الحرارة عن درجة الغليان بالتحميص superheating ، فمثلاً إذا كانت درجة حرارة ماء عند الضغط الجوي هي $107°C$ فإن مقدار التحميص هو $107°C$حيث إن درجة غليان الماء عند الضغط الجوي هي $100°C$.
- يعرف التبريد الدوني *subcooling* بمقدار الانخفاض في درجة حرارة سائل ما عن درجة الغليان، فمثلاً إذا كانت درجة حرارة ماء عند الضغط الجوي هي $95°C$ فإن مقدار التبريد الدوني هو $5°C$ حيث إن درجة غليان الماء عند الضغط الجوي هي $100°C$.

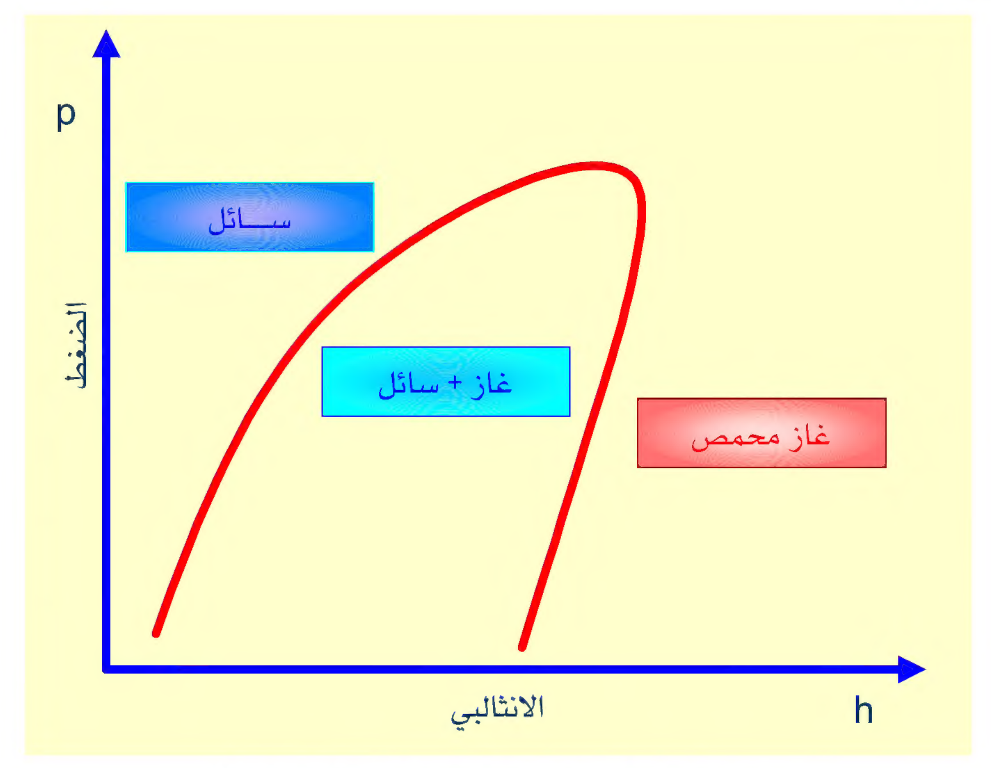
جداول و خرائط وسائط التبريد

لمعرفة أداء دورة التبريد الانضغاطية، يجدر التعرف على خرائط وجداول وسائط التبريد. والخرائط الشائعة الاستعمال عند تحليل أداء دورة التبريد الانضغاطية هي خرائط الضغط والانثالبي (p-h diagram) وخرائط درجة الحرارة - الإنتروبي (T-s diagrams) غير إن خرائط p-h أكثر استعمالاً من خرائط T-s وهذا المخطط مقسم إلى ثلاث مناطق مفصول بينها بخطي التشبع (سائل أو بخار) وهي:

ا – منطقة التبريد الدوني وهي تقع على الجانب الأيسر من المخطط وفي هذه المنطقة يكون وسيط التبريد في حالة سائل فقط ودرجة الحرارة تكون أقل من درجة حرارة التشبع بالنسبة لأي ضغط.

ب – منطقة التحميص وهي المنطقة التي تقع على الجانب الأيمن من المخطط. وفي هذه المنطقة يكون وسيط التبريد في حالة بخار فقط ودرجة الحرارة تكون أكبر من درجة حرارة التشبع بالنسبة لأي ضغط.

ج – المنطقة الوسطي حيث يكون وسيط التبريد في حالة تغير الطور (سائل + غاز). المسافة الأفقية بين خطي التشبع مقروءة على إحداثيات الإنثالبي عند أي ضغط تعرف بالحرارة النوعية للانصهار لوسيط التبريد(latent heat of vaporization) مع ملاحظات إن قيمة هذه الحرارة الكامنة تقل مع زيادة الضغط.



شكل (١ – ٣): مخطط الضغط مع طاقة الانثالبي

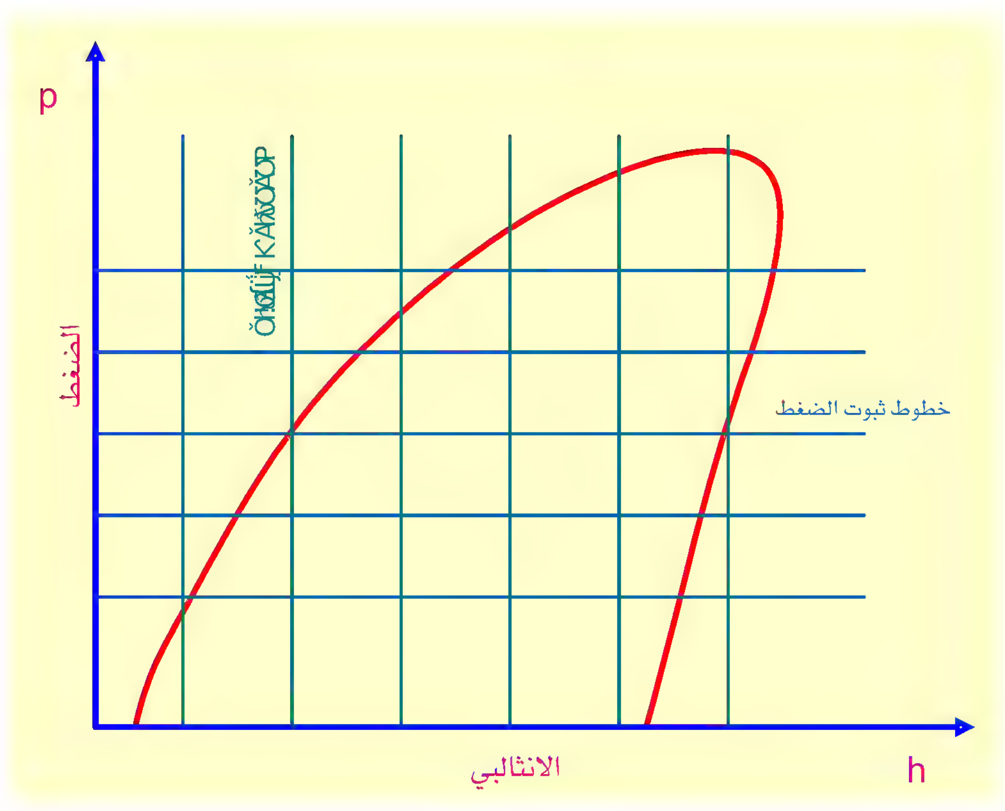
و مخطط $p-h$ يحتوي على ست خطوط وهي كالتالي:

١ - خطوط ثبوت الضغط $(p=c)$:

وهي الإحداثيات الرأسية للمخطط $(\log p)$ بوحدات الضغط (bar).

٢ - خطوط ثبوت طاقة الانثالبي $(h=c)$:

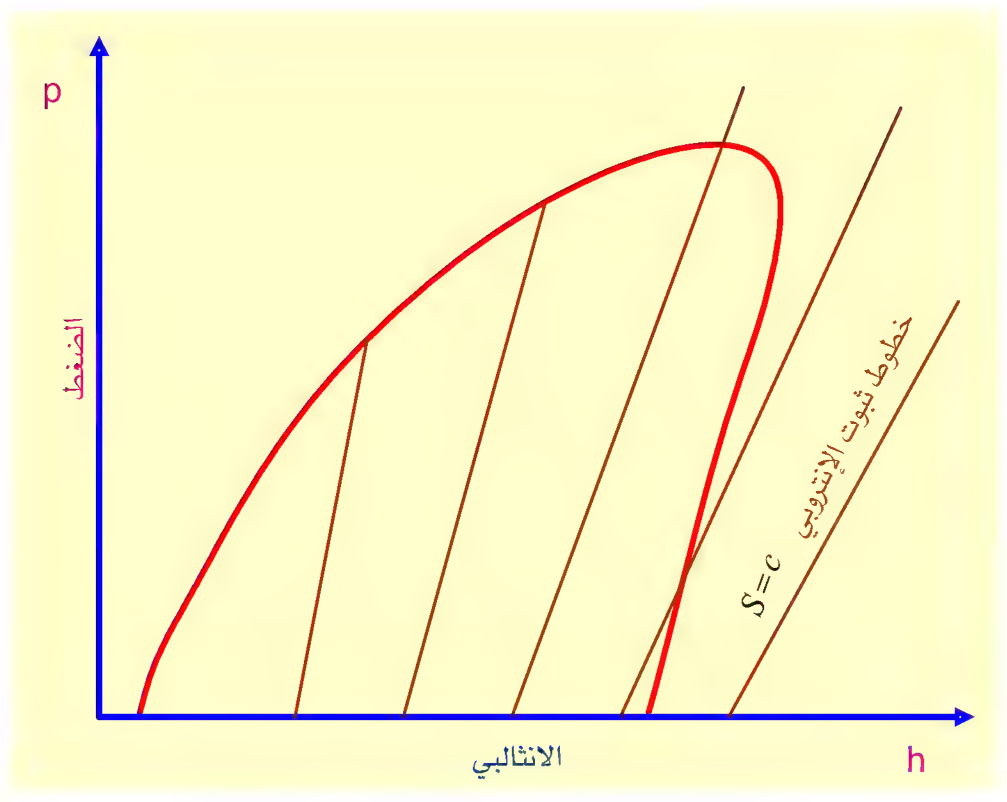
وهي الإحداثيات الأفقية للمخطط بوحدات الإنثالبي (kJ/kg).



شكل (١ – ٤): خطوط ثبوت الضغط وخطوط ثبوت طاقة الإنثالبي على مخطط p-h

٣ - خطوط ثبوت الانتروبي $(s = c)$ وهي بوحدة (kJ / kgK) :

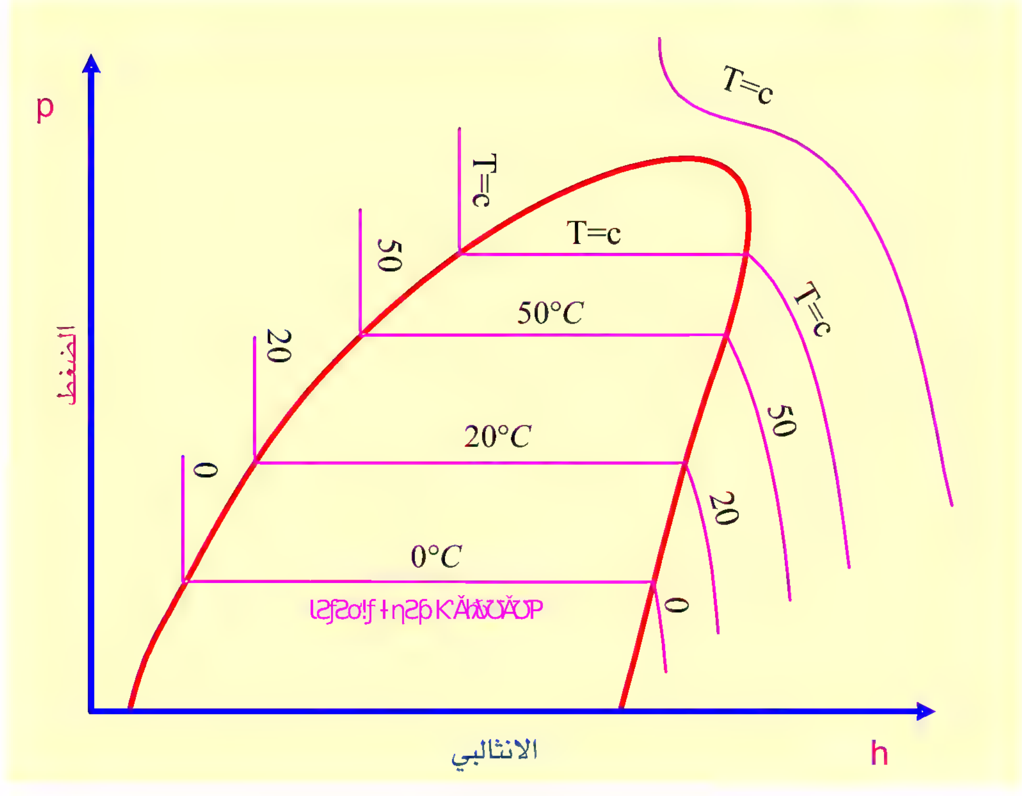
تكون هذه الخطوط قطرية $(diagonally)$ مع ميل ناحية الاتجاه الرأسي.



شكل (١ – ٥): خطوط ثبوت الإنتروبي (s = c)

٤ - خطوط ثبوت درجات الحرارة $(T = c)$:

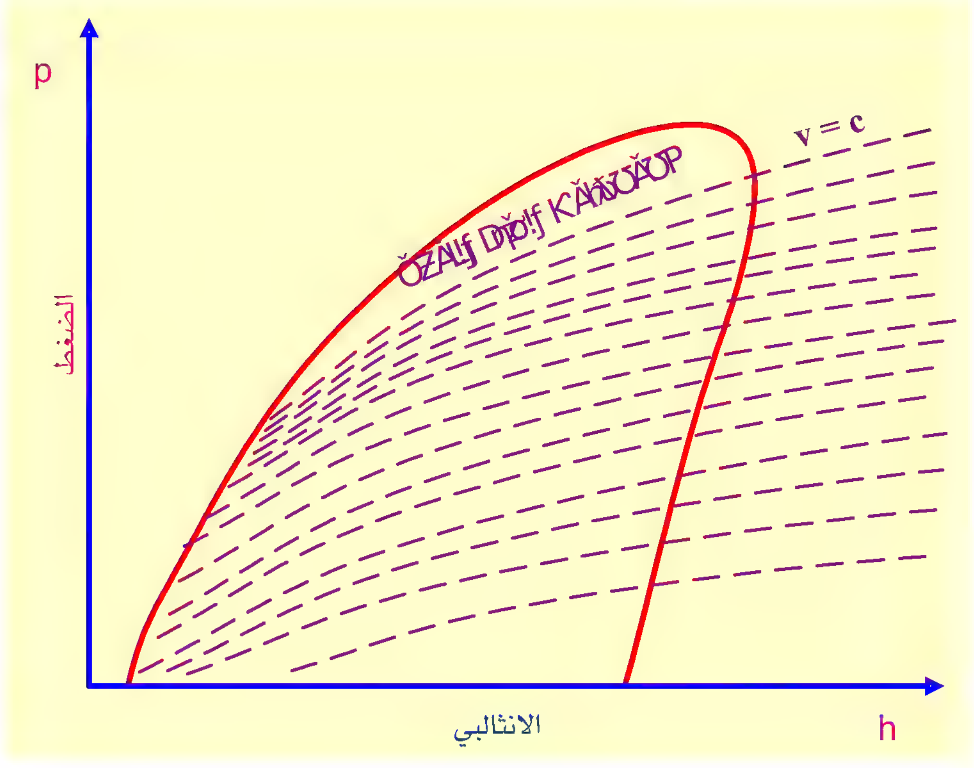
في منطقة التبريد الدوني تكون خطوط درجة الحرارة رأسية موازية لإحداثيات الضغط وتكون هذه الخطوط أفقية وموازية لإحداثيات الإنثالبي في منطقة تغير الطور وفي منطقة التحميص تكون هذه الخطوط مائلة إلى أسفل المخطط وهي بوحدة $°C$.



شكل (١ – ٦): خطوط ثبوت درجة الحرارة

٥ - خطوط ثبوت الحجم النوعي $(v=c)$:

يكون منحنى ثبوت الحجم النوعي منطقة التحميص تقريبا أفقية مع زاوية ميل بسيطة تجاه الرأسي. وهي أما بوحدة m^3/kg أو بوحدة l/kg. خطوط ثبوت الحجم النوعي تزيد ناحية الأسفل.



شكل (١ – ٧): خطوط ثبوت الحجم النوعي

٦ - معامل الجفاف (x) *dryness fraction* :

يكون تغير الطور من سائل إلى بخار في المنطقة الوسطى من ناحية اليسار إلى اليمين. و يكون تغير الطور من بخار إلى سائل في المنطقة الوسطى من ناحية اليمين إلى اليسار. وتعرف نسبة كمية البخار لوسيط التبريد في هذه المنطقة منسوبا إلى الكتلة الكلية لوسيط التبريد بمعامل الجفاف (x) *dryness fraction*.

معامل الجفاف = كتلة بخار وسيط التبريد / الكتلة الكلية لوسيط التبريد

$$x = \frac{m_v}{m}$$

حيث :.

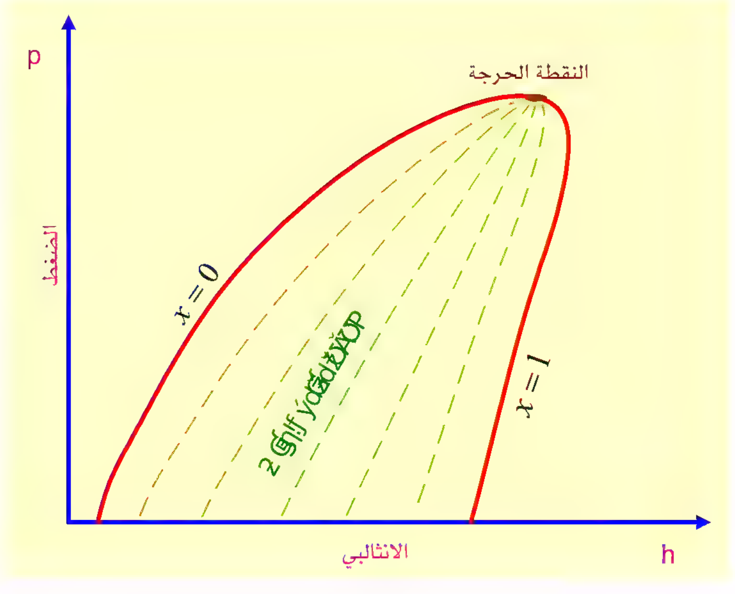
معامل الجفاف : x

كتلة بخار وسيط التبريد : m_v

كتلة وسيط التبريد : m

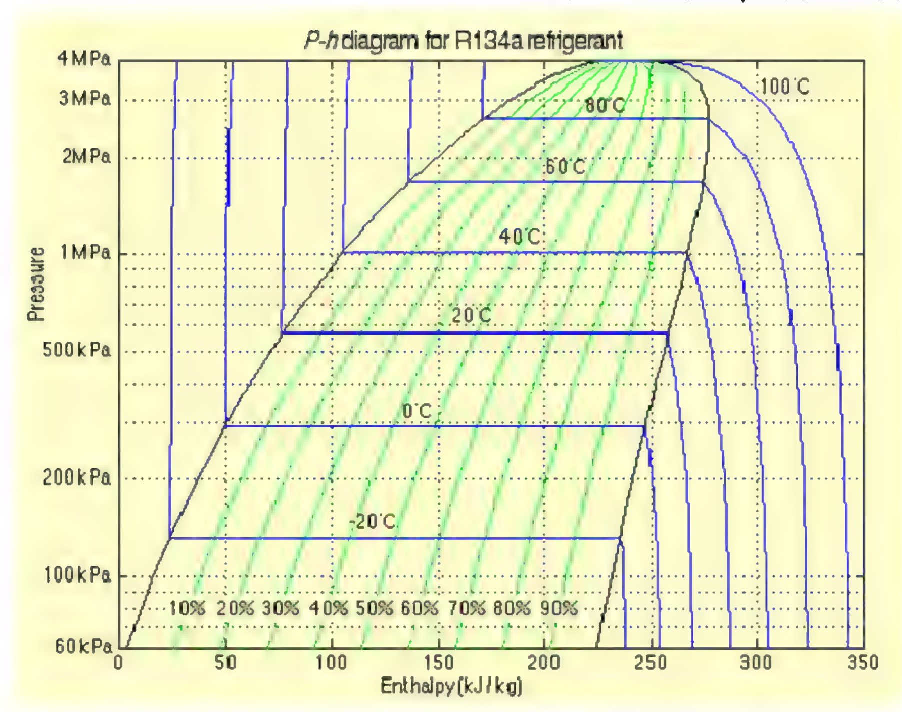
(ملحوظة $0 \le x \le 1$)

فمثلا عند خط تشبع السائل يكون $x = 0$ وعند خط التشبع لبخار وسيط التبريد يكون $x = 1$ وعندما يكون $x = 0.10$ يعني إن كمية بخار وسيط التبريد تكون 10% بالنسبة لكتلة وسيط التبريد، وفي هذه الحالة تكون أقرب إلى خط التشبع للسائل وعندما يكون $x = 0.90$ يعني إن كمية بخار وسيط التبريد تكون 90% بالنسبة لكتلة وسيط التبريد وفي هذه الحالة تكون أقرب إلى خط التشبع للبخار.



شكل (١ – ٨): خطوط معامل الجفاف

والشكل الت إلى يوضح الشكل العام لأحد وسائط التبريد(R134a) به بعض الخطوط المذكورة سابقا وكل وسائط التبريد تقريبا لها خرائط مشابهة في الشكل



شكل (١ – ٩): مخطط p-h لوسيط التبريد R134a

توجد عدد من خرائط وسائط التبريد (مخطط p-h) خلف هذه الحقيبة.

إضافة إلى خرائط وسائط التبريد توجد هنالك جداول لوسائط التبريد تبين فيها الخصائص التالية لوسيط التبريد عند منطقتي التشبع (سائل أو بخار):

- درجة الحرارة :وهي درجة حرارة التشبع وهي غالبا ما تكون بأقصى العمود الأيسر في الجدول وبوحدة $°C$.
- الضغط: وهو الضغط المناظر لدرجة حرارة وبوحدة bar
- الحجم النوعي (فى منطقة تشبع السائل يرمز إليه بالحرف v' ولمنطقة تشبع بخار وسيط التبريد يشار إليه بالحرف v'') وهو بوحدة l/kg
- الانثالبي (في منطقة تشبع السائل يرمز إليها بالحرف h' ولمنطقة تشبع بخار وسيط التبريد يشار إليها بالحرف h'') وهي بوحدة kJ/kg
- الحرارة الكامنة (L)وهي تساوي $L = h'' - h'$ بوحدة kJ/kg

درجة الحرارة	الضغط	الحجم النوعي		طاقة الانثالبي		الحرارة الكامنة
$T\{°C\}$	$p\{bar\}$	$v'(l/kg\}$	$v''(l/kg\}$	$h'\{kJ/kg\}$	$h''\{kJ/kg\}$	$L\{kJ/kg\}$
-26	1.020	0.726	188.56	166.35	381.71	215.37
-25	1.067	0.728	180.67	167.59	382.34	214.75
-24	1.116	0.730	173.18	168.84	382.97	214.13

جدول (١ – ٢): مثال لجداول وسائط التبريد

بعض جداول وسيط التبريد تعطي أيضا الإنتروبي (s) عند حالة تشبع السائل وحالة التشبع لبخار وسيط التبريد.

وللتدرب على استعمال خرائط (مخططات) وجداول وسائط التبريد ، نعطي الأمثلة التالية :

مثال١:

لوسيط تبريد $(R11)$ سائل مشبع $(x = 0)$ عند درجة حرارة $20°C$ تم خنقه أدياباتياً (عند ثبوت الانثالبي) إلى درجة حرارة $0\ °C$. أوجد:

أ. الضغط والانثالبي عند النقطة الأولى باستعمال الجداول.

ب. الضغط ومعامل الجفاف لوسيط التبريد بعد الخنق باستعمال الجداول وعن طريق الحساب.

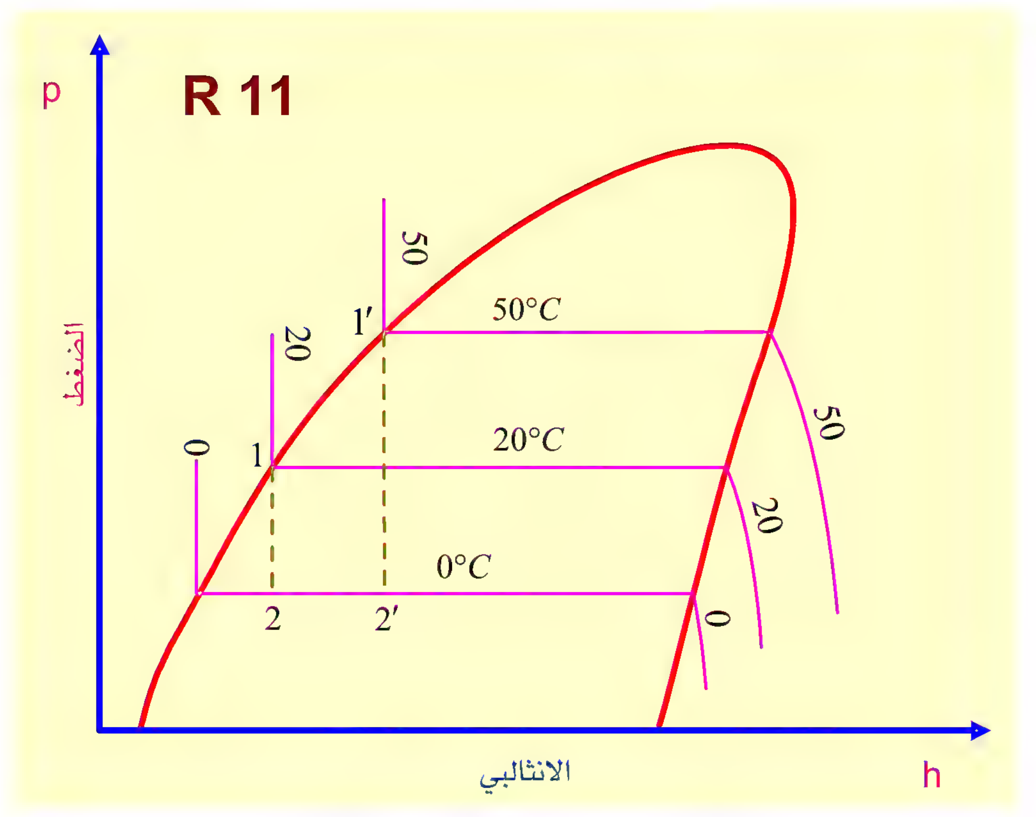
ج. ما التغير الذي يحدث لحالة وسيط التبريد إذا كان وسيط التبريد مشبعا عند درجة الحرارة $50°C$ وتم خنقه أدياباتياً (عند ثبوت الانثالبي) إلى درجة حرارة $0\ °C$.

الحل:

أ. باستعمال الجدول الخاص بوسيط التبريد $(R11)$ يمكن إيجاد الضغط والانثالبي عند $T = 20°C$:

$$p_1 = 0.889\ bar \qquad h_2 = 217.26\ kJ/kg$$

ب. من خريطة وسيط التبريد يتم تحديد النقطة (1) ومع خط ثبوت الإنثالبي يتم النزول إلى درجة حرارة $0\ °C$ حيث يتم تحديد النقطة (2) كما موضح بالشكل (١ – ١٠):



شكل (١ — ١٠): مخطط $p-h$ للمثال (١)

عليه يكون:

الضغط $p_1 = 0.400\ bar$

ولحساب معامل الجفاف (x) نستعمل المعادلة التالية :

$$x = \frac{h_x - h'}{h'' - h'}$$

وحيث إن:

$$h_x = 217.26\ kJ/kg$$
$$h'' = 390.63\ kJ/kg$$
$$h' = 200.00\ kJ/kg$$

إذن:

$$x = \frac{217.26 - 200.00}{390.63 - 200.00} = 0.09$$

ومن الرسم على خريطة وسيط التبريد يمكن أيضاً قراءة معامل الجفاف بالتقريب (x = 0.10)

ج. عند درجة حرارة التشبع $50°C$ يكون:

$h_1 = 244.61\ kJ/kg$ $p_1 = 2.379\ bar$

وأيضا يمكن قراءة معامل الجفاف (x) من الخريطة $x = 0.25$

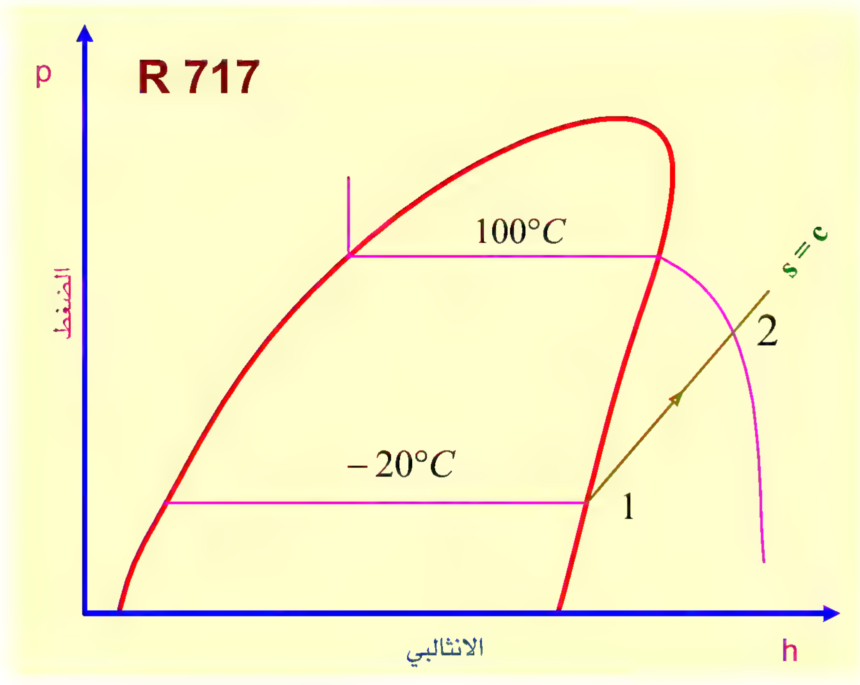
يمكن حساب معامل الجفاف (x) كالتالي:

$$x = \frac{244.61 - 200.00}{390.63 - 200.00} = 0.23$$

مثال٢ : .

وسيط التبريد الأمونيا $(R717)$ بخار محمص عند درجة حرارة $-20°C$ و $(x=1)$ تم ضغطه عند ثبوت الإنتروبي إلى درجة حرارة $100°C$. أوجد الانثالبي، الضغط والحجم النوعي لوسيط التبريد بعد الانضغاط.

الرسم لمخطط $p-h$



شكل (١ – ١١): الرسم لمخطط $p-h$ لمثال (٢)

الشكل (١ – ١١) يوضح نقطة البداية (1) قبل الانضغاط والنقطة (2) بعد الانضغاط.

من الخريطة يمكن قراءة الآتي:

$h_2 = 1680\ kJ/kg$ $\quad$ $p_2 = 10\,bar$ $\quad$ $v_2 = 0.178\ m^3/kg$

مثال٣:

وسيط التبريد $(R12)$ عند إنثالبي $h = 450 kJ/kg$ وإنتروبي $s = 1.75 kJ/kgK$ ، تم تبريده مع ثبوت الضغط إلى درجة التشبع ($x = 0$) حدد أحوال وسيط التبريد التالية:

أ. T_1 ، v_1 ، p_1 قبل التبريد (الحالة الابتدائية).

ب. h_2 ، T_2 بعد التبريد (الحالة النهائية).

الحل:

أ. تحدد النقطة الابتدائية (1) مع تقاطع الإنثالبي $h = 450\ kJ/kg$ والإنتروبي $s = 1.95\ kJ/kgK$ كما هو موضح بالرسم.

من الخريطة عند النقطة (1) ، تقرأ الكميات التالية

$T_1 = 80°C$ $\qquad$ $v_1 = 0.028\ m^3/kg$ $\qquad$ $p_1 = 8\ bar$

ب. بعد التبريد ، وعند خط التشبع $x = 0$ ، نجد إن:

$T_2 = 32°C$ $\qquad$ $h_2 = 230\ kJ/kg$

الخلاصة

- أحوال المادة هي الصلابة، السيولة والغازية.
- المواد الصلبة غير قابلة للانضغاط بينما المواد السائلة صعبة الانضغاط أما الغازات فهي أكثر انضغاطا.
- يمكن إن تتحول المادة من:

  حالة صلبة ⇔ حالة سيولة ⇔ حالة غازية
- عند(أثناء) تغير المادة من السيولة إلى الحالة الغازية أو العكس تظل درجة الحرارة ثابتة (درجة حرارة التشبع saturation temperature).
- كمية الحرارة التي تكتسبها (أو تفقدها) المادة لتتحول من طور إلى آخر تعرف بالحرارة الكامنة.
- نسبة الكمية الغازية، عند درجة حرارة معينة، منسوبة إلى الكتلة الكلية للمادة حين تغير الطور تعرف بمعامل الجفاف (x).
- تم عمل جداول لوسائط التبريد المختلفة عند بداية التحول من بخار إلى سائل(x-0) وبعد اكتمال تحول كل السائل إلى بخار (x=1) مبينا فيه الإنثالبي والحجم النوعي.
- الزيادة في درجة حرارة وسيط التبريد - عند ضغط معين - عن درجة التشبع يعرف بالتحميص والانخفاض عن تلك الدرجة يعرف بالتبريد الدوني.
- خرائط وسائط التبريد(مخطط p-h) تبين الخواص التالية: الانثالبي، الضغط، الإنتروبي، الحجم النوعي، درجة الحرارة ومعامل الجفاف في كل من مناطق التحميص و التشبع.

تمارين

١) لوسائط التبريد المحمصة التالية، مستعملا خرائط $p-h$ أوجد الكميات المطلوبة في الجدول :

وسيط التبريد	Temperature $^{\circ}C$	Pressure bar	v m^3/kg	h kJ/kg	s kJ/kgK
$R11$	60				1.85
$R22$				450	1.90
$R717$		4	0.5		
$R502$			0.12	400	
$R134a$	30	2.5			

٢) باستعمال جداول وسائط التبريد، أوجد الكميات الناقصة بالجدول:

وسيط التبريد	Temperature $^{\circ}C$	Pressure bar	v' l/kg	v'' l/kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg
$R22$	50					
$R22$		2.455				
$R717$	-20					
$R717$		17.346				
$R134a$						
$R134a$						

٣) لكل من وسائط التبريد التالية، أوجد درجة الغليان لكل منها عند الضغط الجوي:
وسائط التبريد هي $R134a$ ، $R11$ ، $R12$ ، $R22$ ، $R717$ ، $R502$.
أيضا أوجد لكل وسيط من وسائط التبريد السابقة حجمه النوعي عند $x=0$ وعند $x=1$ والحرارة الكامنة (L) وذلك عند الضغط الجوي.

٤) وسيط التبريد $(R134a)$ تم ضغطه من $T=0^{\circ}C$ و $s=1.76\ kJ/kgK$ ت مع ثبوت الإنتروبي $(s=c)$ حتى $10bar$ أوجد كلاً من الانثالبي h ، الحجم النوعي v قبل وبعد الانضغاط .

٥) وسيط تبريد $(R717)$ مشبع عند معامل جفاف $x=0.2$ ودرجة حرارة $T=-40^{\circ}C$ ، امتص كمية من الحرارة جعلته محمصا بمقدار $7K$. أوجد:

أ.   الإنثالبي h ، الحجم النوعي v قبل امتصاصه للحرارة.

ب.   درجة حرارة وسيط التبريد T ، الإنثالبي h ، الحجم النوعي v والانتروبي بعد تحميصه.

٦) باستعمال خرائط $p-h$ لوسيط التبريد $R22$ ، أجب عن الآتي:

أ.   وسيط تبريد سائل مشبع $x=0$ عند درجة حرارة $20\ °C$ تم خنقه أدياباتياً (عند ثبوت الانثالبي $h=c$) إلى درجة حرارة $-20\ °C$. ارسم هذه العملية على مخطط $p-h$ ثم أوجد: الضغط، الحجم النوعي والانثالبي قبل الخنق

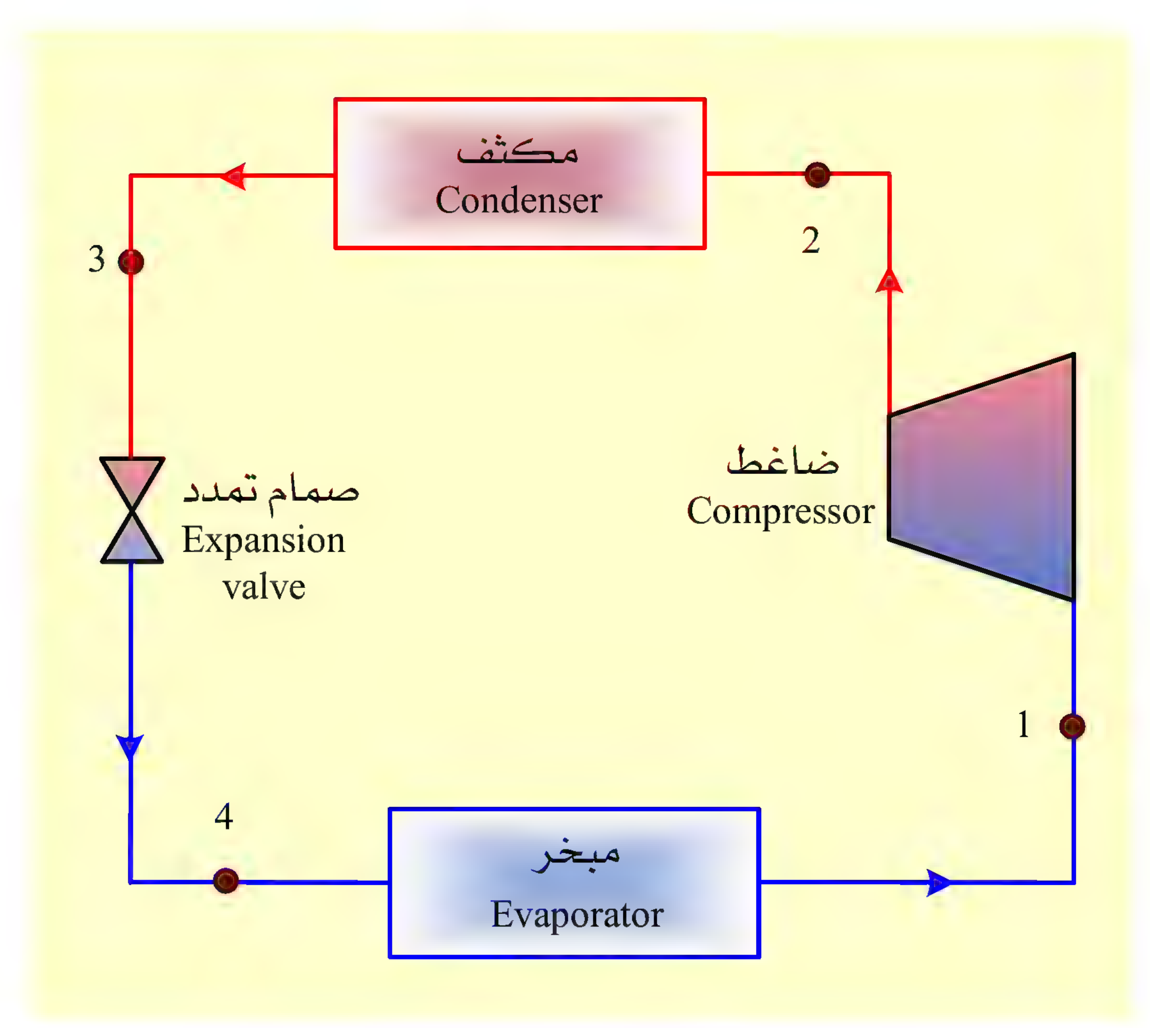
ب.   وسيط التبريد غاز محمص عند درجة حرارة $-20\ °C$ و $(x=1)$ تم ضغطه عند ثبوت الإنتروبي $(S=c)$ إلى درجة حرارة $40\ °C$. ارسم هذه العملية على مخطط $p-h$ ثم أوجد: الإنثالبي ، الضغط والحجم النوعي لوسيط التبريد بعد الإنضغاط.

الفصل الثاني : دورة البخار الانضغاطية
Vapor Compression Cycle

يُعَرَّف التبريد بأنه انتقال الحرارة من حيز عند درجة حرارة منخفضة (مصب sink) إلى حيز عند درجة حرارة أعلى (منبع source). تتكون دورة التبريد من عدة عناصر تُكَوِّن دورة مقفولة. تمثل دورة انضغاط البخار أهم دورات التبريد و.تَسْتَعْمِل دورة انضغاط البخار البسيطة موائع تعمل على امتصاص الحرارة من المصب ودفعها إلى المصدر وذلك بواسطة الضاغط . وتسمى هذه الموائع وسائط التبريد (refrigerants).

مكونات دائرة التبريد الميكانيكية

يمكن تمثيل المكونات الميكانيكية لدورة التبريد بالشكل التالي:



شكل (١ – ١٢): مخطط الانسياب (flow diagram) لدورة التبريد

وهذه المكونات هي:

أ. الضاغط **(compressor):**

وظيفته زيادة ضغط وسيط التبريد من الضغط المنخفض إلى الضغط الأعلى. وتوجد هنالك عدة أنواع من الضواغط المستعملة في دوائر التبريد نذكر منها الضواغط الترددية، الدورانية، الحلزونية وضواغط الطرد المركزي.... إلخ.

المكثف (Condenser) :

وهو عبارة عن مبادل حراري الغرض منه التخلص من كمية الحرارة الزائدة إلى الجو المحيط به (درجة حرارة المكثف أكبر من درجة حرارة الوسط المحيط $T_{cond} > T_{env}$). وغالبا ما يتم تبريد المكثف بالهواء (طبيعي أو جبري) أو بالماء.

ب. صمام التمدد ـ الناشر (expansion valve):



شكل (١ – ١٣): صمام التمدد

صمامات التمدد تعمل على خفض ضغط المكثف إلى ضغط المبخر(تسمى بعملية الخنق throttling) وكذلك تتحكم في معدل سريان وسيط التبريد إلى المبخر ويتحول وسيط التبريد من سائل مشبع إلى خليط من بخار وسائل لوسيط التبريد بعد عملية الخنق هذه

ج. المبخر (Evaporator)

ووظيفته إن يزود وحدة التبريد بسطح انتقال حرارة يمكن إن تمر خلاله من الحيز المبرد أو المنتج المبرد إلى وسيط التبريد وهو مجموعة من المواسير تكون في داخل الحيز المبرد أو المنتج المبرد ويكون وسيط داخل هذه المواسير عند ضغط منخفض ودرجات حرارة منخفضة عند دخوله المبخر. عند سريان وسيط التبريد في مواسير المبخر هذه يقوم بامتصاص الحرارة الكامنة للانصهار من الحيز الخارجي المبرد أو المنتج المبرد وهذا بدوره يتسبب في زيادة نسبة كمية بخار وسيط التبريد بالنسبة للمبخر و عند خروج وسيط التبريد يكون في حالة بخار وذلك قبل دخوله المبخر وإلا لزم استعمال مجمع يمكن بواسطته سحب بخار وسيط التبريد فقط إلى الضاغط.

معظم مواسير المبخرات تكون من النحاس، الحديد، البرونز، الألمونيوم أو أي مواد أخرى مقاومة للتفاعل مع وسيط التبريد.

دورة انضغاط البخار البسيطة Simple Vapor Compression Cycle (VCC)

دورة انضغاط البخار البسيطة تعرف أحيانا بدورة رانكين Rankine Cycle. أو الدورة النظرية للتبريد والعمليات الأساسية لدورة البخار الانضغاطية البسيطة يمكن تلخيصها في الأتي:

العملية $1 \rightarrow 2$ عملية ثبوت الإنتروبي Process 1-2: Isentropic Compression (S=c)

_عند دخول وسيط التبريد إلى الضاغط يكون في حالة بخار (x=1) وبعدها يتم ضغط وسيط التبريد في عملية أدياباتية عكسية (ثبوت الانتروبي) حيث يزداد الضغط من ضغط السحب عند النقطة (1) إلى ضغط الطرد (النقطة2). وعليه يتم بذل شغل للضاغط. وباستخدام القانون الأول للديناميكا بين النقطتين (1) و (2) نجد أن:

$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

حيث:

شغل الانضغاط $W_c = \{kW\}$

الانثالبي عند النقطة (1) $h_1 = \{kJ/kg\}$

الانثالبي عند النقطة (2) $h_2 = \{kJ/kg\}$

وذلك بفرض الآتي:

- التغير في طاقة الوضع والحركة صغير جدا ويمكن إهماله

العملية $2 \rightarrow 3$ عملية فقدان الحرارة بالمكثف (مع ثبوت الضغط) Process 2-3 Heat Rejection to hot region (@ P=c)

عند سريان وسيط التبريد في المكثف من (2) إلى (3) يتم فقدان الحرارة إلى الجو المحيط الذي في درجة حرارة أقل من درجة حرارة المكثف.وسيط التبريد يدخل المكثف في حالة تحميص حيث يبرد تبريداً محسوسا مع ثبوت الضغط إلى درجة التشبع بعدها تكون عملية التبريد في المكثف تبريداً كامناً حتى يصل وسيط التبريد إلى النقطة (3) عندها يكون وسيط التبريد سائلاً مشبعاً.

تكون كمية الحرارة المفقودة من المكثف (Q_c) هي:

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

الحرارة المفقودة خلال المكثف $Q_c = \{kW\}$

الانثالبي عند النقطة (3) $h_3 = \{kJ/kg\}$

الانثالبي عند النقطة (2) $h_2 = \{kJ/kg\}$

العملية 4 → 3 عملية الخنق خلال صمام التمدد (مع ثبوت الإنثالبي) Process 3-4 Throttling Process (@ h=c)

عملية الخنق التي تتم خلال صمام التمدد تؤدي إلى خفض ضغط المكثف الع إلى إلى الضغط المنخفض للمبخر عند (4). في العملية 4 → 3 كلا من درجة الحرارة والضغط يتم خفضهما. وباعتبار عملية الخنق هذه عملية أدياتية وبدون بذل أي شغل، يمكن باستعمال القانون الأول للديناميكا الحرارية التوصل إلى التالي:

$$h_4 = h_3$$

العملية 1 → 4 عملية اكتساب الحرارة بالمبخر (مع ثبوت الضغط) Process 3-4 Heat addition at cold region (@ P=c)

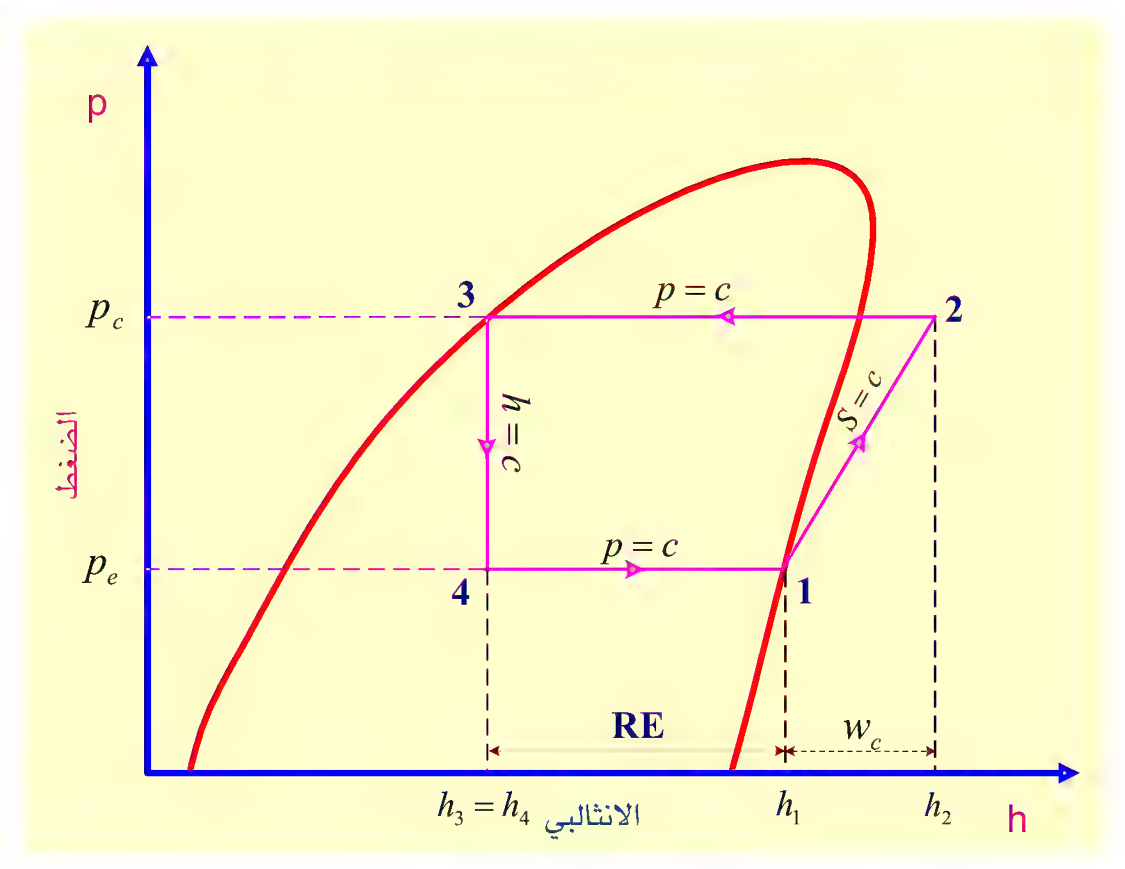
العملية الأخيرة 1 → 4 لعملية الانضغاط بالبخار تكون في المبخر، حيث تكون درجة حرارة المبخر أقل من درجة حرارة الحيز المحيط كي يتسنى انتقال الحرارة من الحيز المحيط إلى المبخر. ويدخل وسيط التبريد المبخر كوسيط تبريد مكون من بخار وسائل (نسبة كمية السائل غالباً ما تكون أقل من البخار) وتكون عملية اكتساب الحرارة هذه عملية كامنة حتى يكون وسيط التبريد بخاراً مشبعاً (النقطة 1). كما في المكثف تكون هذه العملية عند ثبوت الضغط، تكون كمية الحرارة المكتسبة بالنسبة للمبخر (يمكن تعريفها لاحقاً بحمل المبخر) هي:

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

الحرارة المفقودة خلال المبخر $Q_e = \{kW\}$

الانثالبي عند النقطة (1) $h_1 = \{kJ/kg\}$

الانثالبي عند النقطة (٤) $h_4 = \{kJ/kg\}$



شكل (١ – ١٤): مخطط الحالة (state diagram) لدورة التبريد البسيطة

ملخص العمليات الثيرموديناميكية :

العملية Process	المكون Component	العلاقة الأساسية Key Relation	استنتاج القانون الأول 1st Law Analysis
1-2	الضاغط compressor	$S_2 = S_1$	$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1)$
2-3	المكثف Condenser	$p_3 = p_2$	$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3)$
3-4	صمام التمدد expansion valve	$h_4 = h_3$	$h_4 = h_3$
4-1	المبخر evaporator	$p_4 = p_1$	$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4)$

جدول (١ – ٣): ملخص عمليات دورة التبريد البسيطة

والجدول الت إلى يلخص حالات النقاط الأربع في الدائرة المثالية

النقطة	x	الطور
1	1	بخار مشبع
2	_	بخار محمص
3	0	سائل مشبع
4	$0 \le x \le 1$	خليط من البخار والسائل

جدول (١ – ٤): حالة كل من نقاط دورة التبريد البسيطة

أداء دورة التبريد الانضغاطية البسيطة Performance of VCC

أ - التأثير التبريدي **Refrigeration effect (RE)**

تعرف كمية الحرارة التي يمتصها كل كيلوجرام واحد من وسيط التبريد في المبخر من الوسط المحيط به من بعد دخوله المبخر حتى خروجه بخاراً مشبعاً.وهي تمثل فرق الإنثالبي بين النقطتين (4)و(1) في حالة دورة التبريد البسيطة كما في حمل المبخر وهي:-

$$RE = h_2 - h_1$$

ب ـ شغل الانضغاط **Input Work (W_c)**

كما سبق لاحقا فإن وظيفة الضاغط هي العمل على سريان وسيط التبريد في دورة التبريد إضافة إلى رفع ضغط دورة التبريد من ضغط السحب إلى ضغط الطرد. ويحسب شغل الانضغاط بإيجاد فرق الإنثالبي بين مخرج ومدخل وسيط التبريد إلى الضاغط مضروباً في معدل سريان وسيط التبريد في الدورة.

$$W_c = \dot{m}\Delta h$$

وللدورة الموضحة سابقاً يكون شغل الإنضغاط(W_c) هو:

$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

ج ـ حمل المبخر **Evaporator load (Q_e)**

يعبر عن حمل المبخر عن معدل الطاقة التي سوف يزيله المبخر من الحيز المبرد أو المنتج المبرد(kW) وهذا يعتمد على حمل التبريد (cooling load) للحيز(أو المنتج) المبرد.

وقبل عصر التبريد الميكانيكي كان يستخدم الثلج باتساع كوسيط تبريد وعليه كان من الطبيعي إن تقارن سعة التبريد للثلاجات الميكانيكية بمكافئ انصهار الثلج. فحين ينصهر طن واحد من

الثلج؛ فإنه سوف يمتص (وحدة حرارة بريطانية) 288000 BTU، فإذا تم انصهار هذا الثلج في يوم واحد (24 hours) فإن معدل امتصاص الحرارة يكون 12000 BTU/h وهذا ما يعبر عنه بطن التبريد:

(Ton of Refrigeration, T.R.)

وحمل المبخر(Q_e) في الدائرة المثالية يمكن التعبير عنه:

$$Q_e = \dot{m}(h_2 - h_4)$$

د ـ معامل الأداء لدورة التبريد البسيطة (COP)

معامل الأداء لدورة التبريد(Coefficient of Performance, COP) هو تعبير يقصد به كفاءة الدورة ويكتب كنسبة من الطاقة التي يمتصها المبخر منسوبا إلى الطاقة اللازمة للضاغط:

$$COP = \frac{Q_e}{Wc} = \frac{RE}{w_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

هـ ـ معدل سريان وسيط التبريد ($\dot{m}$)

يمكن تعيين معدل السريان ($\dot{m}$) لمادة وسيط التبريد في دورة التبريد من المعادلة التالية:

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{RE}$$

حيث إن:

حمل المبخر $= Q_e$

التأثير التبريدي $= RE$

حجم الإزاحة للضاغط:

من المعادلة السابقة ($\dot{m} = \frac{Q_e}{RE}$)، يمكن تحديد معدل السريان الحجمي لوسيط التبريد ($\dot{V}$) الذي يسحبه الضاغط بعد معرفة الحجم النوعي لوسيط التبريد (v_1) عند مدخل الضاغط حيث:

$$\dot{V} = \dot{m}v_1$$

إذا كان ضاغط دورة التبريد من النوع الترددي (reciprocating) وله كفاءة حجمية η_v (وهي غالبا ما تكون بين 65% و 85%) عليه يكون حجم الإزاحة ($\dot{V}_s$) لوسيط التبريد(في مدة زمنية واحدة) يعادل:

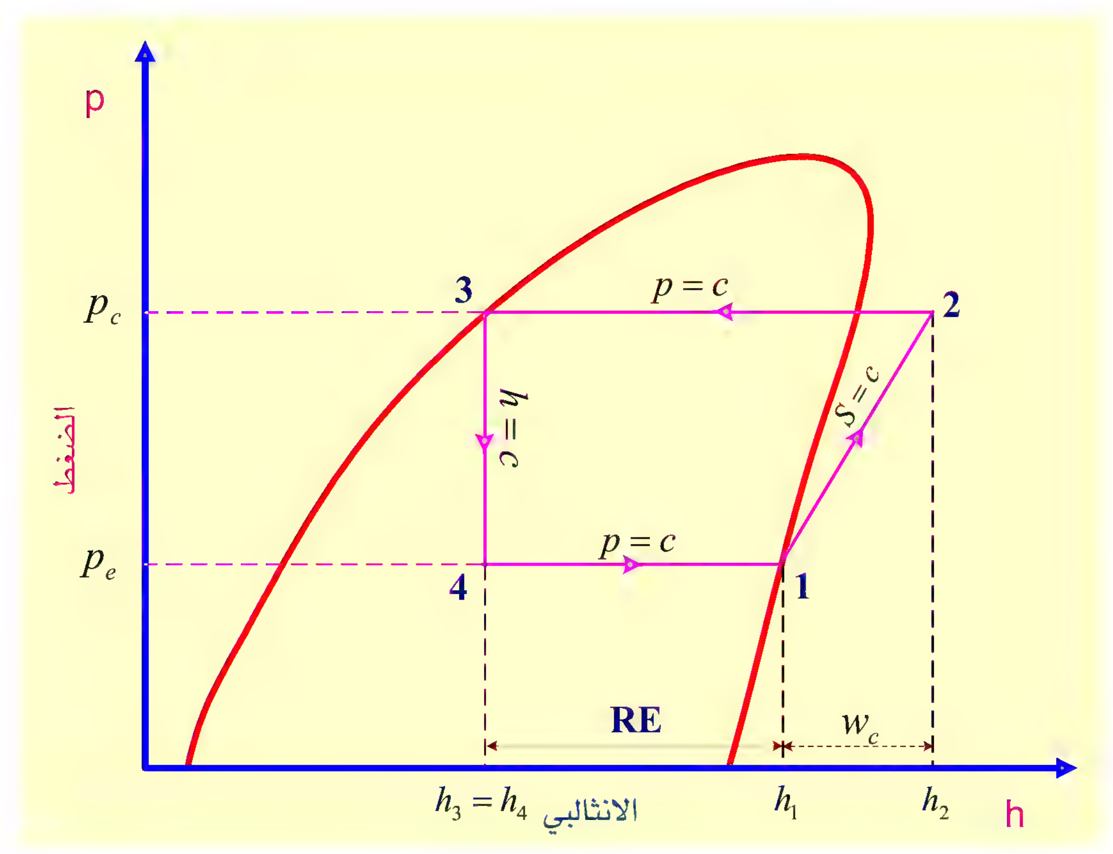
$$\dot{V}_s = \frac{\dot{V}}{\eta_v} = \frac{\dot{m}v_1}{\eta_v}$$

أمثلة محلولة

مثال١

في دورة تبريد بسيطة لثلاجة منزلية تستعمل $R134a$ كوسيط تبريد ، درجة حرارة المبخر $-20°C$ ودرجة حرارة وسيط التبريد عند دخوله المكثف $30°C$. وسيط التبريد يدخل الضاغط بخارا مشبعاً $(x = 1)$. إذا كان معدل سريان وسيط التبريد $1kg/s$ ، احسب الآتي:

١. شغل الضاغط (w_c)
٢. الحرارة المفقودة من المكثف (q_c)
٣. التأثير التبريدي (RE)
٤. معامل أداء الدورة (COP)



شكل (١ – ١٥):

$$h_1 = 385.48\ kJ/kg$$
$$h_2 = 417\ kJ/kg$$

شغل الإنضغاط:

$$w_c = h_2 - h_1 = 417 - 385.48 = 31.52 \ kJ/kg$$

الحرارة المفقودة من المكثف (q_c) :

$$q_c = h_2 - h_3 = 417.00 - 241.63 = 175.37 kJ/kg$$

التأثير التبريدي (RE) :

$$RE = h_1 - h_4 = h_1 - h_3 = 385.48 - 241.63 = 143.85 kJ/kg$$

معامل أداء الدورة (COP) :

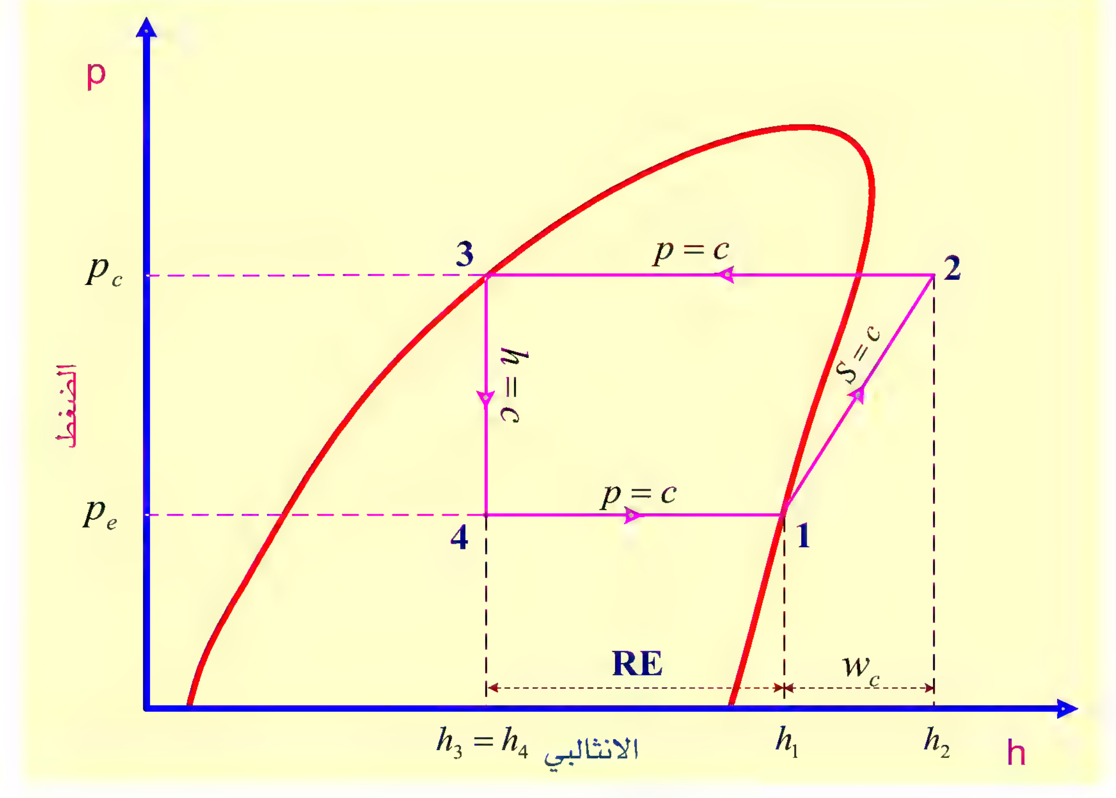
$$COP = \frac{RE}{w_c} = \frac{143.85 \ kJ/kg}{31.52 \ kJ/kg} = 4.56$$

مثال٢

حمل نظام تبريد ـ يستعمل $R134a$ ـ هو $25 \ TR$ . . دائرة التبريد هي دائرة بسيطة تعمل بين ضغطي $0.25 MPa$ و $1.00 MPa$. احسب الشغل اللازم لتشغيل المحرك بوحدة:

أ ـ kW ب ـ hp

كم يكون حجم الإزاحة للضاغط إذا علمت إن الكفاءة الحجمية له تساوي 80%.



شكل (١ – ١٦)

$$P_4 = P_1 = 0.25\ MPa, \qquad P_2 = P_3 = 1.00\ MPa$$

باستعمال مخطط $P-h$ لإيجاد طاقة الإنثالبي عند النقاط $1,2\&3$ نجد أن:

$$h_3 = h_4 = 256\ kJ/kg \qquad h_2 = 426\ kJ/kg \qquad h_1 = 396\ kJ/kg$$

التأثير ألتبريدي (RE) : $RE = h_1 - h_4 = 396 - 256 = 140\ kJ/kg$

معدل سريان وسيط التبريد $(\dot{m})$: $\dot{m} = \frac{Q_e}{RE} = \frac{25 \times 3.5}{140} = 0.625\ kg/s$

شغل الانضغاط (W_c) :

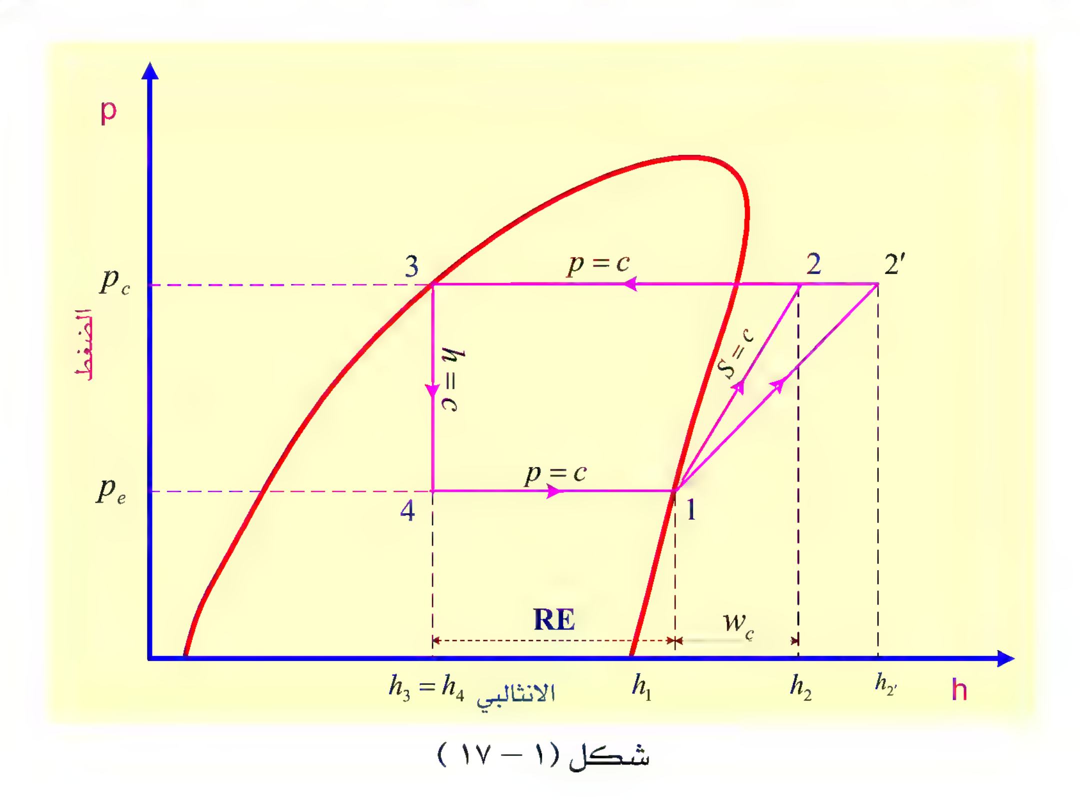
$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.625(426 - 396)$$
$$= 18.75\ kW$$
$$= \frac{18.75}{0.746} = 25.13\ hp$$

بافتراض الكفاءة الحجمية $\eta_v = 80\% = 0.80$

الحجم النوعي لوسيط التبريد عند النقطة (1) $v_1 = 80 L/kg = 0.080\ m^3/kg$ (من الخريطة p-h)

$\therefore$ حجم الإزاحة لوسيط التبريد $\dot{V}_s = \frac{m v_1}{\eta_v} = \frac{0.625 \times 0.080}{0.80} = 0.0625\ m^3/s$

في الثلاجة المنزلية تستعمل الضواغط المحكمة القفل (hermetic) غير إنه في الاستعمالات التجارية الكبيرة قد نستعمل أنواع أخرى كالضواغط المفتوحة أو النصف محكمة القفل أو ضواغط الطرد المركزي حيث إن العملية الانضغاطية لهذه الضواغط لا انعكاسية (irreversible)؛ أي إن عملية الانضغاط (12) ليست على خط ثبوت الإنتروبي حيث يزداد شغل الانضغاط في هذه الحالة . وتعرف نسبة شغل الانضغاط الأيزنتروبي منسوبا إلى شغل الانضغاط الحقيقي بالكفاءة الايزنتروبية (isentropic efficiency)

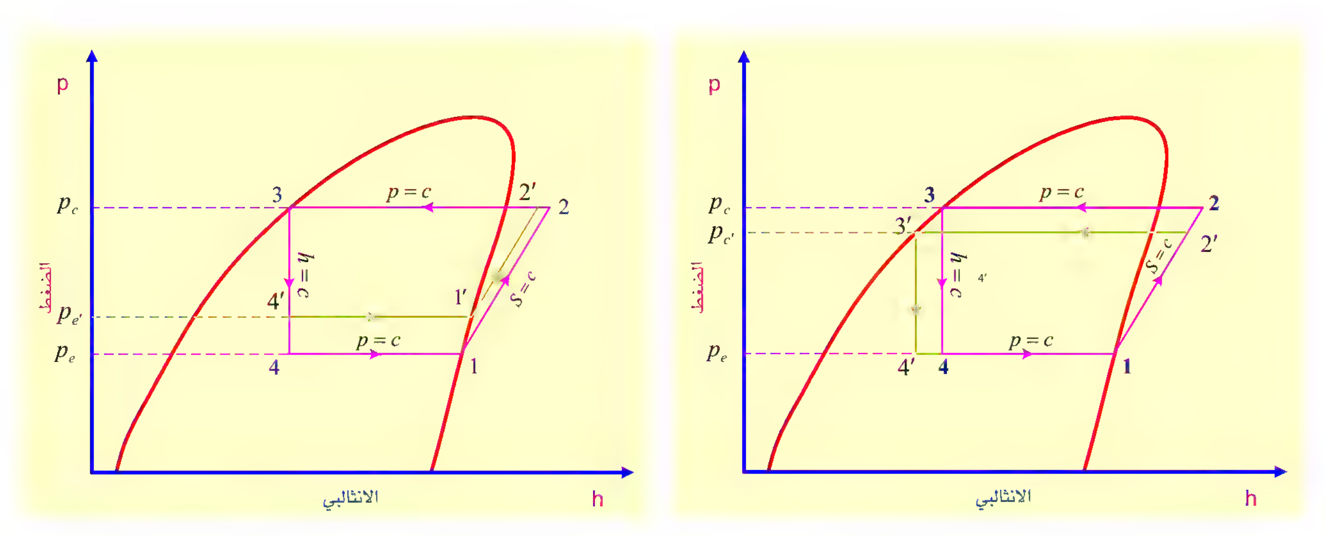


شكل (١ — ١٧)

يمكن كتابة الكفاءة الأيزنتروبية (η_s) للشكل أعلاه كما يلي :-

$$\eta_s = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1} < 1$$

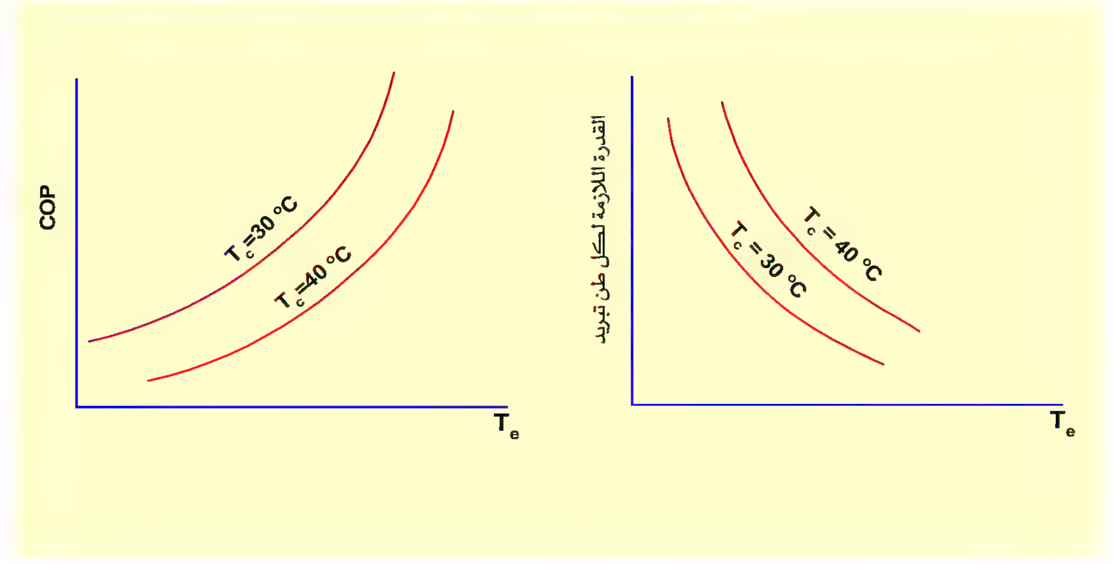
تأثير ضغط السحب وضغط الطرد على أداء دورة التبريد



شكل (١ — ١٨): تأثير درجتي السحب والطرد على أداء دورة التبريد

ففي الشكل (١ – ١٨) نجد إن زيادة الضغط في المبخر من الضغط (p_e) إلى الضغط (p'_e) أو انخفاض الضغط في المكثف من الضغط (p_c) إلى الضغط (p'_c) يؤدي إلى زيادة التأثير ألتبريدي (RE) ويقل شغل الانضغاط (W_C) ويتبع ذلك زيادة في قيمة معامل الأداء (COP) ونقصان معدل سريان وسيط التبريد ($\dot{m}$) خلال المبخر ونقصان القدرة اللازمة لكل طن تبريد.

و يوضح الشكل(١ – ١٩) تأثير كل من درجة التبخير (T_e) ودرجة التكثيف (T_c) على قيمة كل من معامل الأداء (COP) والقدرة اللازمة لطن التبريد.



شكل (١ – ١٩): تأثير كل من درجتي التبخير والتكثيف على معامل الأداء والقدرة

زيادة درجة حرارة التبخير (T_e) وخفض درجة التكثيف (T_c) يقلل من شغل الإنضغاط (W_C) ويرفع قيمة معامل الأداء (COP).

لبيان تأثير كل من درجتي حرارة السحب والطرد على أداء دورة التبريد ، نأخذ المثالين التاليين:

(١) ـ تغير درجة حرارة السحب (المبخر)

تم حساب معامل الأداء وشغل الانضغاط وكذلك معامل أداء دورة التبريد عند درجة حرارة للمكثف تساوي $50°C$ مع وسيط التبريد R11

COP -	w_c kJ/kg	RE kJ/kg	T_E $°C$
5.35	28.23	151.16	10
4.05	36.37	146.02	0
2.63	51.65	135.74	-20

جدول (١ – ٥)

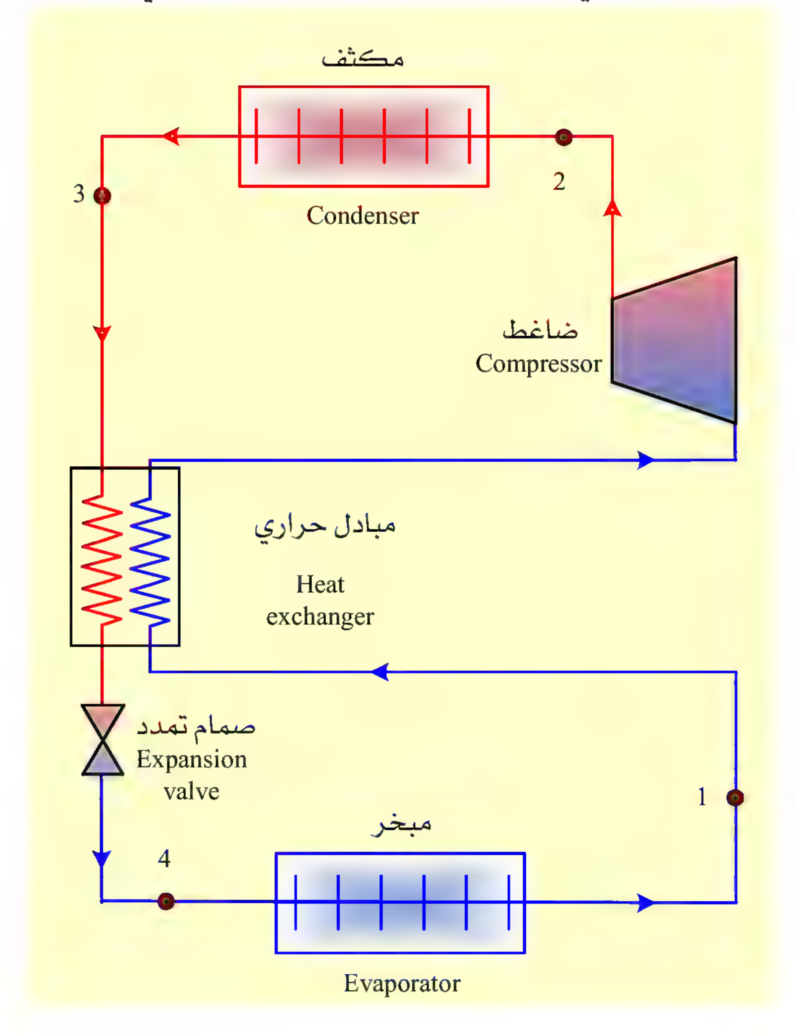
(٢) - تغير درجة حرارة السحب (المبخر)

تم حساب معامل الأداء وشغل الانضغاط وكذلك معامل أداء دورة التبريد عند درجة حرارة للمكثف تساوي $50°C$ مع وسيط التبريد R11

COP -	w_c kJ/kg	RE kJ/kg	T_C $°C$
2.63	51.65	135.74	50
3.48	41.65	145.03	40
4.58	33.65	154.16	30

جدول (١ – ٦)

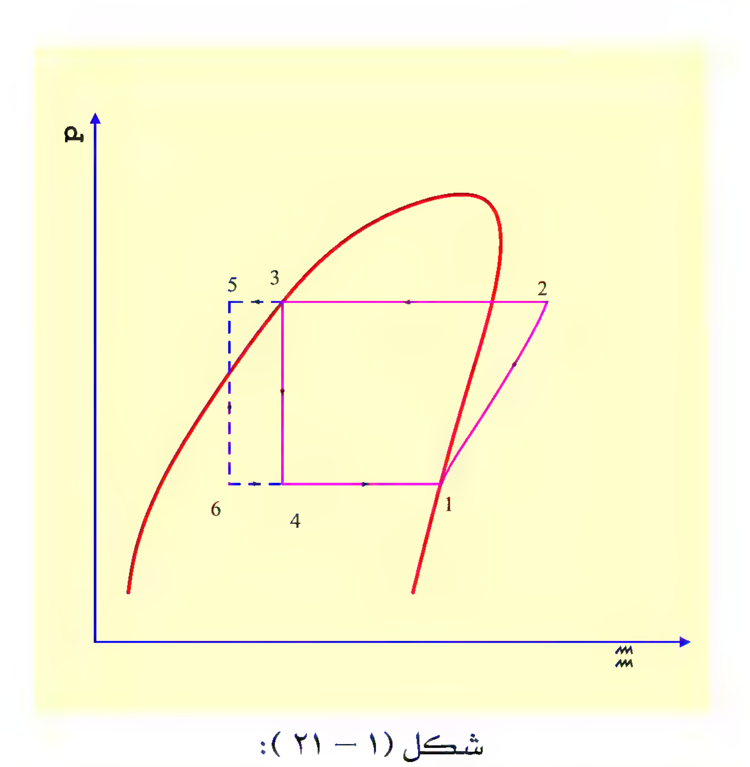
لكل من عمليتي التحميص والتبريد الدوني في دورة التبريد، يستعمل في بعض الأحيان مبادل حراري يعمل على تحميص وسيط التبريد من بعد المبخر بحو إلى $5K$ (من النقطة 1 إلى النقطة 7) لضمان وصول بخار إلى الضاغط. كما إن المبادل الحراري يعمل على الحصول على تبريد دوني (من النقطة 3 إلى النقطة 5)



مثال:

دورة تبريد تعمل بين درجتي حرارة تبخير $-15°C$ وتكثيف $32°C,$ بوسيط تبريد R11. إذا كان البخار جافا مشبعا عند مدخل الضاغط وعملية الانضغاط أيزنتروبية ولا يوجد تبريد دوني. أوجد التأثير التبريدي و معامل الأداء

إذا تم تبريد وسيط التبريد دونيا بمقدار $7\,K$ ، أوجد التأثير التبريدي و معامل الأداء. وكذلك معدل سريان وسيط التبريد لكل kW تبريد.



شكل (١ — ٢١):

الحل:

- دون تبريد دوني(الدورة 1234):

من جداول R11 عند $T_e = -15°C$

$$h_1 = 382.92\ kJ/kg$$

من خرائط $p-h$ عند النقطة (2)

$$h_2 = 417\ kJ/kg$$

من خرائط $p-h$ عند النقطة (3) $(T_3 = 32°C)$

$$h_3 = h_4 = 228\ kJ/kg$$

التأثر التبريدي

$$RE = h_1 - h_4$$

$$= 382.92 - 228 = 154.92\ kJ/kg$$

شغل الانضغاط لكل kg　　$w_c = h_2 - h_1$

$$= 417 - 382.92 = 34.08\ kJ/kg$$

معامل الأداء　　$COP = \frac{RE}{w_c} = \frac{154.92}{34.08} = 4.55$

عند تبريد دوني مقداره $7K$ (الدورة1256)

درجة حرارة وسيط بعد خروجه من المكثف　　$T_5 = 32 - 7 = 25°C$

من مخطط $p-h$ يتم تحديد النقاط 5 و 6 ومنه نجد:

$$h_5 = h_6 = 222\ kJ/kg$$

والتأثير التبريدي　　$RE' = h_1 - h_6$

$$= 382.92 - 222 = 160.92\ kJ/kg$$

معامل الأداء　　$COP' = \frac{RE'}{w_c} = \frac{160.92}{34.08} = 4.72$

معدل سريان وسيط التبريد　　$\dot{m} = \frac{Q_e}{RE'} = \frac{1}{160.92}$

$$= 6.2 \times 10^{-3}\ kg/kg = 6.2\ g/kg$$

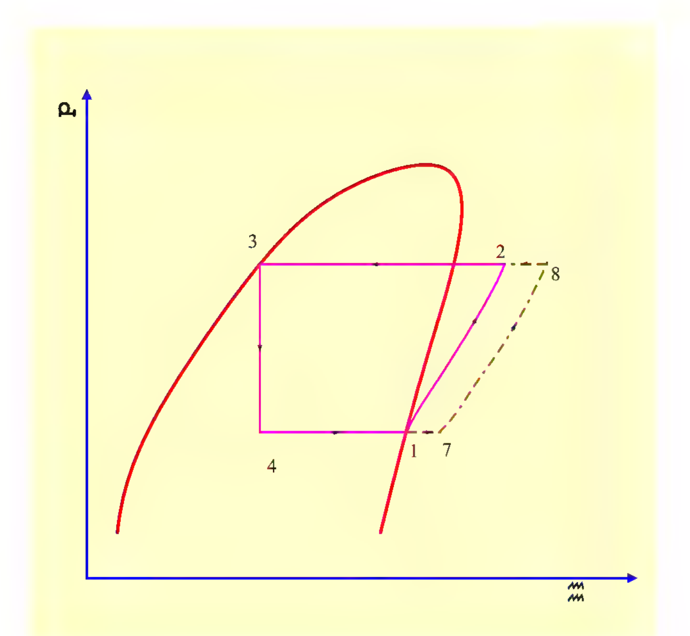
ملاحظة: لاحظ الزيادة في التأثير التبريدي $(RE' \succ RE)$ ومعامل الأداء $(COP' \succ COP)$ نتيجة التبريد الدوني

مثال:

دورة بخار انضغاطية تعمل بوسيط التبريد $R22$ بين ضغطي مبخر ومكثف يبلغان $2.455bar$ و $11.88bar$ على التوالي. المطلوب إجراء مقارنة للتأثير التبريدي و معامل الأداء لكل $1kg/s$ من وسيط التبريد في كل من الحالات التالية:

- البخار جاف مشبع عند مدخل الضاغط
- البخار محمص بمقدار $7K$ عند مدخل الضاغط

الحل:



شكل (١ – ٢٢):

عند الضغط $2.455\ bar$ و $11.88\ bar$ تكون كل من درجة حرارة المبخر و درجة حرارة التكثيف على التو إلى هما $-20°C$ و $30°C,$ لوسيط التبريد $R22$.

- البخار جاف عند مدخل الضاغط:

من جداول وسيط التبريد $R22$ عند $T_e = -20°C$

$$h_1 = 397.07\ kJ/kg$$

من خرائط $p-h$ عند النقطة (2)

$$h_2 = 437.0\ kJ/kg$$

من جداول وسيط التبريد $R22$ عند $T_c = 30°C$

$$h_3 = h_4 = 236.70\ kJ/kg$$

التأثر التبريدي

$$RE = h_1 - h_4$$

$$= 397.07 - 236.70 = 160.37\ kJ/kg$$

شغل الانضغاط لكل kg

$$w_c = h_2 - h_1$$

$$= 437.0 - 397.07 = 39.93\ kJ/kg$$

معامل الأداء

$$COP = \frac{RE}{w_c} = \frac{160.37}{39.93} = 4.016$$

درجة حرارة وسيط التبريد عند دخوله الضاغط مع وجود $7K$ تحميص:

$T_7 = -20 + 7 = -13°C$ يتم تحديد النقطة (7) عند درجة الحرارة $T_7 = -13°C$ والضغط $2.455\ bar$ ومن ثم يتم تحديد النقطة (8) والتي تقع عند ثبوت الإنتروبي للنقطة (7) وعند الضغط $11.88\ bar$ على مخطط $p-h$.

بعد رسم العملية (8 – 7) يتم قراءة كل من:

$h_8 = 443\ kJ/kg$ $\qquad h_7 = 400\ kJ/kg$

التأثير التبريدي $\quad RE' = h_7 - h_4$

$$= 400.0 - 236.7 = 163.3\ kJ/kg$$

شغل الانضغاط لكل kg $\quad w_c = h_8 - h_7$

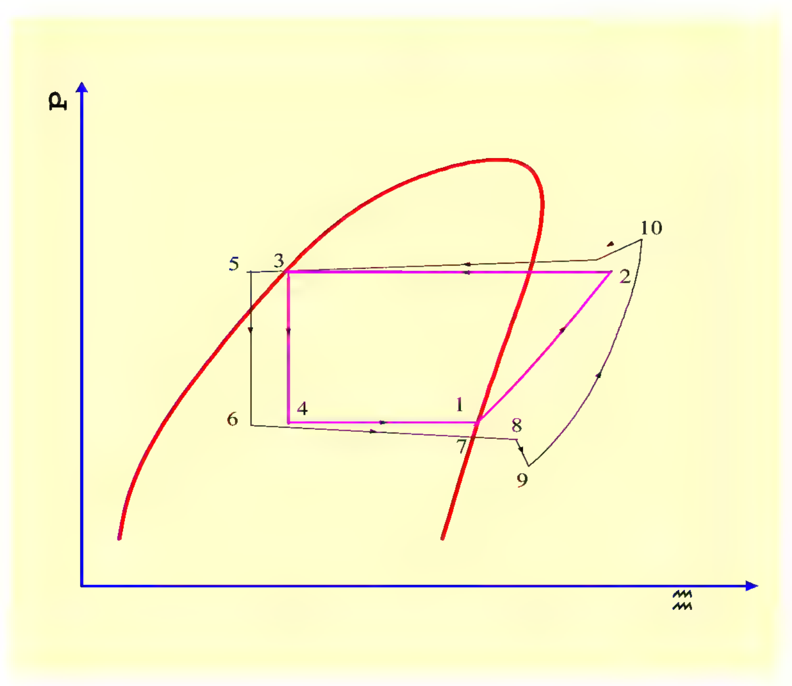
$$= 443 - 400 = 43 kJ/kg$$

معامل الأداء $\quad COP' = \frac{RE'}{w_{c'}} = \frac{163.3}{43} = 3.798$

مما سبق نلاحظ الزيادة في التأثير التبريدي $(RE' \succ RE)$ والنقصان في معامل الأداء $(COP' < COP)$.

تأثير مفاقيد الضغط على أداء دورة التبريد

في الشكل التالي:



شكل (١ – ٢٣): أثر مفاقيد دورة التبريد

تعبر الدورة(1234) عن الدورة الانضغاطية النظرية للبخار، بينما تمثل الدورة (56-11-78910) الدورة الانضغاطية الحقيقية العملية. الاختلافات الرئيسية بين الدورتين هي:

أ ـ انخفاض الضغط خلال مكونات النظام: المكثف (5-11) ، المبخر(68) ، صمام السحب (89)، وصمام الطرد(11-10).

ب ـ عملية الانضغاط الحقيقية (10-9)عبارة عن عملية بوليتروبيكية (polytropic) لها معامل أس n متغير. أي أنها ليست مع ثبوت الانتروبي.

ج ـ سائل التبريد يترك المكثف ودرجة حرارته أقل من درجة حرارة التكثيف (وجود تبريد دوني)

د ـ بخار وسيط التبريد يترك المبخر بخارا محمصا ودرجة حرارته أكبر من درجة الغليان.

التصميم الجيد للمبخر يجعل فقدان الضغط للمبخر بين ($10-20\ kPa$) وبالنسبة لخط السحب والصمامات يجب ألا يحدث فقدان في درجة حرارة التشبع أكثر من 1K.

الخلاصة

- المكونات الأساسية لدورة التبريد هي ، المبخر، الضاغط ، المكثف وصمام التمدد .
- في دورة دورة انضغاط البخار البسيطة ، يتم دخول وسيط التبريد إلى الضاغط بخارا مشبعاً($x=1$) ويخرج من المكثف سائلا مشبعاَ($x=0$).
- تتكون دورة انضغاط البخار البسيطة من اربع عمليات وهي :ـ
  - ❖ عملية الانضغاط بالضاغط (عند ثبوت الإنتروبي)
  - ❖ عملية فقدان الحرارة بالمكثف (ثبوت الضغط الع إلى)
  - ❖ عملية الخنق الأدياباتي فب صمام التمدد (ثبوت الإنثالبي)
  - ❖ عملية امتصاص الحرارة بالمبخر (عند ثبوت الضغط المنخفض)
- عملية انضغاط البخار الحقيقية يوجد بها تحميص و تبريد دوني حيث يحسنان من أداء الدورة (زيادة في التأثير التبريدي ومعامل الأداء .
- من العوامل التي تؤثر على أداء دورة التبريد وجود تغير في ضغط السحب أو الطرد .

تمارين

١ - نظام تبريد يستعمل $(R22)$ كوسيط تبريد. درجة حرارة المبخر $-10°C$ ودرجة حرارة المكثف $50°C$. بافتراض دائرة مثالية (دون وجود تبريد دوني أو تحميص) . باستعمال جداول وسائط التبريد أوجد الضغط، الانثالبي، درجة الحرارة الإنتروبي لوسيط التبريد عند كل نقطة في دائرة التبريد. أيضا أوجد معامل الأداء (COP).

باستعمال خريطة وسيط التبريد ، أعد إيجاد المطاليب السابقة.

٢- مخزن تبريد عند -7°C ويستعمل وسيط التبريد (R134a).و حمل التبريد يساوي $5.3\times10^3 kJ/\min$ ودرجة حرارة المكثف 32°C . لدائرة تبريد عند أحوال التشبع أوجد:

- معدل سريان وسيط التبريد ومعامل الأداء (COP).
- يستعمل الماء لتبريد المكثف.الماء يدخل المكثف عند $24°C$ ويخرج عند $30°C$. ما هو معل سريان الماء ($c_{p_{water}} = 4.18\ kJ/kgK$)

٣ - عند تصميم ثلاجة لحفظ اللحوم تعمل عند $-20°C$ بوسيط تبريدR22، وجد إن حمل التبريد يعادل 70 kW عند $40°C$ أحوال الحيز المحيط بالثلاجة وبافتراض 7 K فرق درجات حرارة للحيز المحيط و كل من المبخر و المكثف.

بافتراض دورة تبريد بسيطة، احسب:

أ - التأثير التبريدي

ب - معدل سريان وسيط التبريد

ح - شغل الانضغاط

د - كمية الحرارة التي يجب إن يفقدها المكثف

٤ - ثلاجة تعمل بالأمونيا(R717) بين درجتي حرارة تبخير وتكثيف تبلغان $-20°C$ و $50°C$, على التوالي. إذا كان البخار جافا مشبعا عند مدخل الضاغط وعملية الانضغاط ايزنتروبية ولا يوجد تبريد دوني. أوجد التأثير التبريدي و معامل الأداء.

إذا تم تبريد وسيط التبريد دونيا بمقدار، أوجد التأثير التبريدي و معامل الأداء. وكذلك معدل سريان وسيط التبريد لكل kW تبريد.

٥ - نظام التبريد لوحدة تكييف تعمل عند الظروف التالية: - درجة حرارة تبخير $-4°C$ (وبدون تحميص)، $45°C$ درجة تكثيف (وبدون تبريد دوني)، وسيط التبريد R12. الماء البارد للمكثف يدخل

عند $24.5°C$ ويخرج عند $37°C$. معدل سريان الماء البارد $1\ m^3/hr$. بعمل الافتراضات اللازمة، أوجد الآتي:-

أ ـ كمية الطاقة الحرارية التي يفقدها المكثف

ب ـ معدل سريان وسيط التبريد

ج ـ سعة المبخر

د ـ شغل الانضغاط

هـ ـ معامل أداء دورة التبريد

٦ ـ ثلاجة تعمل بالأمونيا ا(R717) بين ضغطي مبخر ومكثف يبلغان 2.2634 bar ، 11.669 bar على الترتيب . أوجد مستعينا بجداول وخرائط وسيط التبريد المذكور كلا من معامل الأداء والتأثير التبريدى لكل 1 kg/s من معدل سريان وسيط التبريد وذلك في كل من الحالات التالية :

(i) ـ عندما يصل وسيط التبريد إلى الضاغط جافا مشبعا ولا يوجد تبريد دونى للسائل .

(ii) –عندما يتم تحميص وسيط التبريد بمقدار 10 K عند مدخل الضاغط وتبريده دونيا بنفس المقدار عند خروجه من المكثف.

٧ ـ ثلاجة تعمل بفريون R12 عند درجة تبخير تبلغ $-10°C$ ودرجة تكثيف تبلغ $40°C$. البخار مشبع عند مدخل الضاغط، ودرجة حرارته بعد الانضغاط هي $60°C$ عند ضغط المكثف . احسب الشغل على الضاغط لكل 1 kg/s من معدل سريان وسيط التبريد وكذلك معامل الأداء.

٨ ـ مكيف من طراز الشباك يعمل بفريون R22 بين ضغطي مبخر ومكثف يبلغان 5 bar و 21.5 bar البخار مشبع عند مدخل الضاغط ، لايوجد تبريد دونى للسائل ودرجة الحرارة بعد الانضغاط هي$85°C$]عند ضغط المكثف . احسب قيمة معدل سريان كتلة وسيط التبريد إذا كانت سعة المكيف تبلغ 2 طن تبريد [2 T.R] .

٩ ـ مضخة حرارية تعمل بالأمونيا لتسخين 0.80 kg/s من الهواء من درجة حرارة $5°C$إلى $30°C$. إذا كانت درجة الحرارة في المبخر أوالضغط في المكثف 14.7 bar والبخار جاف مشبع عند مدخل الضاغط ويوجد تبريد دونى بمقدار 12 K ، احسب كلاً من:

أ- معدل سريان وسيط التبريد.

ب - القدرة الداخلة للضاغط.

ج - معامل الأداء .

د- القدرة المطلوبة التي تؤدى نفس الغرض بواسطة التسخين المباشر .

(ملحوظة - الحرارة النوعية للهواء $c_p = 1.005 \frac{kJ}{kg\,K}$)

الفصل الثالث: وسائط التبريد Refrigerants

وسيط التبريد هو عبارة عن مادة تعمل على نقل الحرارة من داخل غرفة أو حيز إلى الخارج، فمثلاً في جهاز التبريد الأساسي يتبخر وسيط التبريد السائل في المبخر مكتسبا كمية من الحرارة يفقدها عند مروره على المكثف، كذلك وسيط التبريد هو عبارة عن المادة التي يمكن تحويلها بسهولة من سائل إلى بخار وبالعكس. المواد المستعملة كوسائط للتبريد يجب إن تتوفر لديها الخواص التالية:

- يجب إن تكون غير سامة Non-poisonous.
- يجب إن تكون غير قابلة للانفجارNon-explosive.
- يجب إن تكون غير قابلة لتسبب التآكل Non-corrosive.
- يجب إن تكون غير قابلة للالتهاب Non-flammable .
- يجب إن تكون سهلة الاكتشاف عند تسربها.
- يجب إن تكون سهلة التحديد عند تسربها.
- يجب إن يعمل الوسيط على ضغط منخفض (درجة غليان منخفضة).
- يجب إن يكون مستقرا في الحالة الغازية.
- يجب إن يكون غير ضار بجسم الإنسان عند التلامس.
- يجب إن يكون مستقرا كيمائياً – لزج – رخيص السعر.
- يجب إن يكون نسبة حجم الوسيط السائل إلى كتلته عالية ليعمل ذلك على زيادة كفاءة أجهزة التحكم.
- يجب إن تكون نسبة حجم الوسيط المتبخر إلى كتلته بسيطة لتقليل الحمولة على الضاغط.
- يجب إن تكون الحرارة الكامنة للوسيط عالية ليعطي ذلك درجة أفضل من التبريد لكل kg من البخار يتم ضغطه.
- الفرق بين الضغط في المكثف والمبخر يجب إن يكون قليلا لتسهيل عملية الانضغاط على الضاغط وبالت إلى ارتفاع كفاءته.

من المستحسن إن يكون الضغط في دائرة التبريد (الثلاجة مثلاً) أعلى بقليل من الضغط الجوي لتفادي تسرب الهواء إلى داخل الدائرة. كما إنه تتم المقارنة بين وسائط التبريد المختلفة في صناعة التبريد على أساس عملها بين درجتي حرارة $-15°C$ درجة تبخير و $30°C$ درجة تكثيف.

وتصنف وسائط التبريد إلى ثلاث مجموعات:

- المجموعة الأولى Group I: وهي الوسائط الأكثر أماناً (الهالوكاربونات – عائلة الفريون). مثال ذلك: R-12، R-22، R-502
- المجموعة الثانية Group II: سامة ولحد ما قابلة للاشتعال، مثال ذلك (Methyl chloride) R-40 و R-764 (Sulfur dioxide)
- المجموعة الثالثة Group II: وهي مجموعة وسائط التبريد القابلة للاشتعال، مثال ذلك R-170 (Ethane) وR-290 (Propane)

أيضا تنقسم وسائط التبريد إلى قسمين:

١. وسائط التبريد الأولية **Primary Refrigerants:**

وسائط التبريد مثل R-12، R-12 وR-502 تسمي بوسائط التبريد الأولية PRIMARY REFRIGERANTS لأنها تغير حالتها عند اكتسابها أو فقدانها للحرارة.

٢. وسائط التبريد الثانوية **Secondary Refrigerants:**

وسائط التبريد الثانوية الأكثر استعمالا هي الماء، كلوريد الكالسيوم، كلوريد الصوديوم، المحاليل الملحية (brines) ، الإثلين ، الميثانول (methyalcohol) والجلسرين.

وسائط التبريد الأولية Identifying Primary Refrigerants

يعرف وسيط التبريد الأولى بالحرف (R) متبوعا بثلاثة أعداد وذلك وفقا للتسمية التي أطلقتها عليها الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة، التبريد والتكييف (ASHRAE).

يتم تقسيم وسائط التبريد(الفريونات) إلى:

١. الكلوروفلوروكاربونات (Chlorofluorocarbons CFCs) وهي تتكون من الكربون، الفلور والكلور (بدون هيدروجين). مثال: R11 ، R12 و R114 .
٢. الهيدروكلوروفلوروكاربونات (Hydrochlorofluorocarbons or HCFCs) وهي تتكون من الكربون، الفلور، والكلور والهيدروجين. مثال ذلك: R-22 or R-123 .
٣. الهيدروفلوروكاربونات Hydrofluorocarbons or HFCs وهي التي تكون خالية من ذرات الكلور، مثل: R-134a .
٤. وسائط مركبة: تتكون من مزيج من وسيطين للتبريد.

التركيب الكيميائي لوسائط التبريد الأولية

١. الفلوروكربونات: **Flurocarbons**

الرقم الأول = عدد ذرات الكربون -١

عدد ذرات الكربون	= الرقم الأول+١

في حالة عائلة الفريونات R11, ..., R22 الرقم الأول صفر

وعليه يتضح إن عدد ذرات الكربون = صفر+١ =١

الرقم الثاني = عدد ذرات الهيدروجين -١

عدد ذرات الهيدروجين	= الرقم الثاني -١

عدد ذرات الفلور	= الرقم الثالث

عدد ذرات الكلور	= الذرات المتبقية

مثال ١:

فريون ١٢ 12 Dichlorofluromethane

عدد ذرات الكربون = صفر+١=١

عدد ذرات الهيدروجين = ١ -١ = صفر

عدد ذرات الفلور =٢

التركيب:

F
|
F — C — Cl
|
Cl

R12

∴ عدد ذرات الكلور =٢

عليه يصبح التركيب الكيميائي لفريون R12 هو CCl_2F_2

مثال٢:

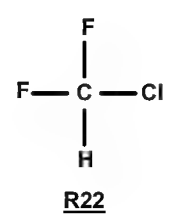
فريون٢٢ Monochlorofuromethane R22

عدد ذرات الكربون = صفر+١ =١

عدد ذرات الهيدروجين =٢ -١=١

عدد ذرات الفلور =٢

التركيب



∴ عدد ذرات الكلور =١

عليه يصبح التركيب الكيميائي لفريون R12 هو $CHClF_2$

مثال ٣:

فريون ١١ R11 Trichloromonofluromethane

عدد ذرات الكربون =صفر+١ =١

عدد ذرات الهيدروجين =١ -١= صفر

عدد ذرات الفلور =١

التركيب

Cl
F — C — Cl
Cl
R11

∴ عدد ذرات الكلور=٣

عليه يصبح التركيب الكيميائي لفريون١١ هو CCl_3F

عائلة **HFC** (الهيدروفلوركاربونات)

مثال:

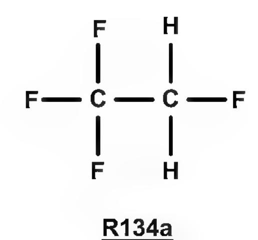
وسيط التبريد Tetrafluroethane (CF_3CH_2F)

الرقم الأول = عدد ذرات الكربون - ١ = ٢ -١ =١

العدد الثاني = عدد ذرات الهيدروجين + ١ =٢+١=٣

العدد الثالث =عدد ذرات الفلور =٤

- لا يوجد فلور
- التركيب



R134a

- إذن رقم وسيط التبريد (CF_3CH_2F) هو R134a

وسائط التبريد غير العضوية Inorganic Refrigerants

تميز بالوزن الجزئي + 700 R(700+mwt)

مثال(١):

النشادر(الأمونيا) NH_3

الوزن الجزئي للأمونيا ١٤+٣=١٧

عليه يصبح تمثيل النشادر هو $R717$

مثال(٢):

ثاني أكسيد الكربون CO_2

الوزن الجزئي =١٢+٢×١٦=٤٤

عليه يصبح تمثيل ثاني أكسيد الكربون هو $R744$

مثال(٣):

الماء H_2O

الوزن الجزئي =١٦+٢=١٨

عليه يصبح تمثيل الماء هو $R718$

كما إن أسطوانات حفظ وسيط التبريد تعرف كل أسطوانة وسيط تبريد معين بلون معين لتسهيل معرفة نوعية وسيط التبريد الذي تحتويه الأسطوانة. جدول (١ — ١) يوضح التركيب الكيميائي لبعض وسائط التبريد المستعملة مع بيان لون الأسطوانة الذي يحفظ فيه ذلك الوسيط.

لون أسطوانة الوسيط	الاسم العام	الصيغة	وسيط التبريد
Orange برتق إلى	Trichloromonofluoromethane	(CCl_3F)	R11
White أبيض	Dichlorodifluoromethane	(CCl_2F_2)	R12
Pale Blue أزرق فاتح	Monochlorotrifluoromethane	$(CClF_3)$	R13
Purple أرجوان	Tetrafluroethane	(CF_3CH_2F)	R134a
Green أخضر	Monochlorodifluoromethane	$(CHClF_2)$	R22
	Monochlorotrifluoromethane	(CH_3Cl)	R40
Orchid أحمر بنفسجي خفيف	-	$(48.8\%R22+51.2\%R115)$	R502
Silver فضي	Ammonia	(NH_3)	R717

جدول (١ — ٧): لون أسطوانات بعض وسائط التبريد

ولوسائط التبريد المذكورة سابقا، سوف تتم مقارنة الخصائص التالية:

الخصائص الحرارية Thermodynamic Properties

أ ـ درجة الحرارة و الضغط Temperature & Pressure

درجة الغليان (boiling point) لمختلف وسائط التبريد عند الضغط الجوي يبينها الجدول التالي:

درجة الغليان ($^{\circ}C$)	نوع وسيط التبريد
23.7	R11
-29.4	R12
-81.4	R13
-26.1	R134a
-40.8	R22
-11.8	R40
-46.0	R502
-33.0	R717

جدول (١ – ٨): درجة الغليان لبعض وسائط التبريد عند الضغط الجوي

يلاحظ من الجدول أعلاه إن وسيط التبريد R13 – والذي يستعمل عادة عند درجات الحرارة المنخفضة في الوحدات المتعاقبة Cascade systems – يتطلب تفريغاً كاملاً.

تتغير وسائط التبريد عند تغير الطور وتعطى دائماً في جداول كما في الجدول الت إلى الخاص بفريون R134a مبينا فيه درجة حرارة التشبع(T) وضغط التشبع (p)، الحجم النوعي (v) في حالة السيولة والغازية وأيضا طاقة الإنثالبي (h) عند السيولة والغازية كما يبين الجدول أيضا الحرارة الكامنة:

درجة الحرارة	الضغط	الحجم النوعي		طاقة الانثالبي		الحرارة الكامنة
$T\{^{\circ}C\}$	$p\{bar\}$	$v'(l/kg\}$	$v''(l/kg\}$	$h'\{kJ/kg\}$	$h''\{kJ/kg\}$	$L\{kJ/kg\}$
-26	1.020	0.726	188.56	166.35	381.71	215.37
-25	1.067	0.728	180.67	167.59	382.34	214.75
-24	1.116	0.730	173.18	168.84	382.97	214.13

جدول (١ – ٩): بعض من جدول وسيط التبريد R134a

وخاصية الضغط بالنسبة لوسائط التبريد هامة جداً حيث إن وسائط التبريد التي تعمل عند ضغوط مرتفعة تحتاج إلى أجهزة قوية لتتحمل ذلك الضغط وغالبا ما تكون هذه الأجهزة غالية الثمن.

ب ـ الحجم النوعي Specific volume (v)

يتم مقارنة الحجم النوعي لوسائط التبريد عند $-15°C$ درجة تبخير - و عند حالة التشبع الغازية (x=1) - والجدول التالي يوضح تلك القيم:

الحجم النوعي (l/kg)	وسيط التبريد
766.73	R11
91.45	R12
-	R13
279.3	R40
120.15	R134a
77.70	R22
50.02	R502
507.9	R717

جدول (١ – ١٠): الحجم النوعي لبعض وسائط التبريد

ج ـ الحرارة الكامنة والتأثير التبريدي

معدل سريان وسيط التبريد	التأثير التبريدي*	الحرارة الكامنة◊	وسيط التبريد
$(kg/\min/kW)$	(kJ/kg)	(kJ/kg)	
0.383	156.73	195.30	R11
0.512	117.16	159.55	R12
0.408	146.96	208.29	R134a
0.369	162.47	217.00	R22
0.172	349.058	-	R40
0.575	104.39	156.61	R502
0.054	1104.68	1311.3	R717

جدول (١ – ١١): الحرارة الكامنة والتأثير التبريدي لبعض وسائط التبريد

*التأثير التبريدي عند $-15°C$ درجة تبخير و $30°C$ درجة تكثيف

◊ الحرارة الكامنة عند $-15°C$ درجة تبخير

الخصائص الفيزيائية Physical Properties

الخصائص الفيزيائية هي الخصائص التي ليس لها تأثير مباشر على كمية الحرارة التي يمكن إن يمتصها وسيط التبريد أو يفقدها وتعتبر الخصائص الفيزيائية هذه أساسية عند اختيار وسيط التبريد. ومن هذه الخصائص الفيزيائية نذكر التالي:

أ - ذوبان وسيط التبريد في الزيوت **Oil Miscibility** :

ذوبان وسائط التبريد في الزيوت له مزايا ومساوئ، ومن مزايا ذوبان وسيط التبريد مع الزيوت تسهيل عملية التشحيم والسهولة النسبية لرجوع الزيت مرة أخرى للضاغط. أما أهم عيوب ذوبان وسيط التبريد في الزيت هو تخفيف الزيت في الضاغط ورداءة انتقال الحرارة بواسطة الزيت.

الجدول الت إلى يوضح قابلية بعض وسائط التبريد للذوبان في الزيت:

هل يذوب وسيط التبريد مع الزيت ؟	وسيط التبريد
نعم	R11
نعم	R12
نعم	R13
نعم	R40
لا	R134a
نعم	R22
لا	R717

جدول (١ – ١٢): ذوبان بعض وسائط التبريد في الزيت

ب ـ الرائحة **Odor** :

الرائحة	وسيط التبريد
أثيرية لحد ما slightly ethereal	R11
أثيرية لحد ما slightly ethereal	R12
أثيرية لحد ما slightly ethereal	R22
أثيرية لحد ما slightly ethereal	R502
لاذعة pungent	R717

جدول (١ – ١٣): رائحة بعض وسائط التبريد

ج ـ سلامة وسيط التبريد **(safety)** :

يجب إن يكون وسيط التبريد المستعمل في دوائر التبريد غير سام وغير قابل للانفجار (الاشتعال) وذلك لضمان سلامة الذين يتعاملون مع مثل هذه الوسائط. الجداول التالية توضح مدى سلامة بعض وسائط التبريد:

وسيط التبريد سام	وسيط التبريد
لا	R11
لا	R12
لا	R13
نعم	R40
لا	R134a
لا	R22
لا	R502
نعم	R717

جدول (١ – ١٤): سمّية بعض وسائط التبريد

وسيط التبريد قابل للاشتعال و الانفجار	وسيط التبريد
لا	R11
لا	R12
نسبيا	R40
لا	R134a
لا	R22
لا	R502
نسبيا	R717

جدول (١ – ١٥): قابلية بعض وسائط التبريد للاشتعال أو الانفجار

د ـ الرطوبة في وسائط التبريد:

إن وجود الرطوبة (الماء) في أنظمة التبريد يعرض أنظمة التحكم للتلف نتيجة الانسداد وذلك عندما تتجمد المياه وتتحول إلى ثلج صلب عند درجات الحرارة المنخفضة. كذلك فإن وجود المياه مع بعض وسائط التبريد عند درجات الحرارة العالية (بعد الضاغط) يكون له تأثير ضار حيث يعمل على تحلل وسيط التبريد ويتحد مع الماء مكونا أحماضا قد تكون ضارة جدا. كذلك فإن وجود المياه قد يسبب الصدأ والتآكل أو تحلل زيت التبريد في الضاغط مما يعرض المحرك الكهربائي للاحتراق خاصة في الضواغط المقفلة والتي لا يمكن الكشف عن حالة الزيت بها أثناء الظروف العادية في العمل.

وحيث إنه من الصعب إزالة كل الرطوبة من وسيط التبريد، فإن كمية الرطوبة يجب إن تكون في الحدود المسموح بها. علماً بأن كمية الرطوبة المسموح بها تتوقف على:

١. نوع وسيط التبريد:

الجدول الت إلى يوضح الحدود المسموح بها لكمية الرطوبة لبعض أنواع وسائط التبريد بوحدات جزء لكل مليون جزء (ppm):

وسيط التبريد	النسبة المسموح بها(ppm)	أقصى نسبة (ppm)
R134a	أقل من 5	أكبر من 15
R22	أقل من 30	أكبر من 100
R502	أقل من 15	أكبر من 50

جدول (١ – ١٦): الرطوبة المسموح بها لبعض وسائط التبريد

كيميائيا يتغير لون وسيط التبريد مع زيادة نسبة الرطوبة. وعندما يدل لون المبين على إن نسبة الرطوبة في وسيط التبريد أصبحت مرتفعة فإنه يجب تغيير المجفف فورا.

٢. أقل درجة حرارة موجودة في النظام:

الجدول الت إلى يوضح نسبة الرطوبة المسموح بها عند درجات الحرارة المختلفة:

درجة الحرارة	نسبة الرطوبة				
°C	R12	R22	R500	R502	R13B1
-40	1.7	120	48	40	2
-20	3.8	195	81	69	5
0	8.3	308	129	115	10
20	17	472	200	180	21
40	32	690	293	278	40

جدول (١ – ١٧): نسبة الرطوبة عند درجات الحرارة المختلفة

يلاحظ إن كمية الرطوبة المسموح بها تزداد بازدياد درجة الحرارة.

و ـ اختبار التسريب (عدم الإحكام):

لاختبار تنفيس دائرة التبريد يلزم أولاً رفع ضغط وسيط التبريد الموجود بداخلها وبعد ذلك يتم فحص كل جزيء من الدائرة يحتمل حدوث التنفيس به. وفي الحالة التي لم تشحن الدائرة بوسيط التبريد يكون من الأوفر في مثل هذه الحالة شحنها جزئيا بوسيط التبريد حتى يرتفع الضغط داخلها إلى حو إلى $40MPa$ وبعد ذلك يستعمل غاز النيتروجين الجاف أو ثاني أكسيد الكربون الجاف. هذا الضغط يمكن رفعه إلى $180MPa$ في المنشآت الكبيرة أو إلى $80MPa$ في المنشآت الصغيرة وهذا الضغط كاف لإجراء اختبار التسرب بدقة عالية.

توصل كل من أسطوانة غاز النيتروجين الجاف وأسطوانة وسيط التبريد بدائرة التبريد المراد اختبار التنفيس فيه.

الاحتياطيات الواجب مراعاتها عند اختبار التنفيس بواسطة النيتروجين:

- لا يستعمل قط غاز الأكسجين لرفع ضغط دائرة التبريد لأن ذلك قد يحدث انفجارا عند تلامسه مع الزيت الموجود بدائرة التبريد.
- يجب تركيب منظم للضغط مجهز بأجهزة قياس للضغط على أسطوانة النيتروجين.

- يجب تركيب بلف تصريف (Relief valve) على الأنبوب الموصل لدائرة التبريد وذلك حتى يمكن تلافي ارتفاع الضغط داخل دائرة التبريد فوق الحد المسموح به.
- يجب تركيب بلف عدم رجوع (Check valve) بعد أسطوانة وسيط التبريد مباشرة وذلك لمنع رجوع وسيط التبريد إلى الأسطوانة، مع ملاحظة إن ضغط أسطوانة غاز النيتروجين الكامل قد يسبب انفجارا لأسطوانة وسيط التبريد أو أجزاء من دورة التبريد في حالة عدم وجود بلف التصريف وبلف عدم الرجوع.

الطرق المختلفة للكشف عن أماكن التسريب:

١ – الكشف بواسطة لمبة التجربة (بواسطة اللهب).

٢ – الكشف بواسطة رغوة كاشفة (محلول الرغاوي).

٣ – الكشف باستخدام جهاز الكشف الالكتروني.

١ ـ الكشف بواسطة لمبة التجربة (بواسطة اللهب) – مشعل هاليد

تعبأ لمبة التجربة بواسطة غاز البيوتان أو الكحول الميثلي أو غاز الإستلين ويتم بعد ذلك إشعال اللهب. يتم بعد ذلك إمرار الخرطوم المطاطي المتصل باللمبة على أماكن الوصلات فإذا تغير لون اللهب من الأزرق إلى الأخضر فإن ذلك يدل على وجود تسرب في هذا المكان.

٢ ـ الكشف بواسطة رغوة كاشفة (محلول الرغاوي)

في هذه الطريقة يتم تغطية الوصلات برغوة كاشفة (مواد كيمائية أو مسحوق الصابون المذاب في الماء) حيث تتصاعد فقاقيع غازية عند مكان التسرب.

٣ ـ الكشف باستخدام جهاز الكشف الإلكتروني

عند تشغيل الجهاز فإنه يصدر عنه إشارة صوتية تختفي تدريجيا مما يدل على إن الجهاز صالح للعمل. يمرر الجزء الحساس على الوصلات فإذا أحدث صوتا فإن هذا يدل على وجود تسرب لوسيط التبريد في ذلك المكان.

كيفية تحديد الوسيلة المناسبة لكشف التسريب How to Choose a Leak Detector?

كما عرفنا سابقاً إن تسرب وسائط التبريد (مثل الكلوروفلوروكربونات CFCs) يؤدي إلى تلوث البيئة. ومن المؤسف إنه في بعض الأحيان لا يعلم بتسرب وسيط التبريد إلا بعد ملاحظة انخفاض أداء عمل وحدة التبريد؛ حينها يكون وسيط التبريد قد تسرب إلى الخارج.

من المهم إن نعرف إنه لا توجد هنالك طريقة محددة لكشف التسريب في كل الأحوال. ولكن النقاط التالية قد تقود إلى استعمال أو عدم استعمال طريقة معينة للكشف عن التسريب:

- نوعية وسيط التبريد.
- حجم النظام system size : يؤدي إلى تفضيل استعمال طريقة عن أخرى.
- مكان الوحدة: وضع وحدة التبريد أو التكييف مثلا داخل أو خارج المنزل، نوعية التهوية، الرياح.....إلخ .
- الضوضاء: وخاصة عند استعمال الأجهزة الإلكترونية الصوتية.
- الإضاءة: وخاصة عند استعمال أجهزة تعتمد على الضوء أو اللون، مثل: مشعل هاليد.

بعض الخصائص و الميزات لبعض وسائط التبريد

وسيط التبريد فريون ١١ **Trichloromonofluromethane R11** CCl_3F

- درجة غليانه $23.7°C$ عند الضغط الجوي.
- غير سام.
- غير قابل للاشتعال.
- لا يحدث تآكلا لكنه يذيب المطاط.
- يستعمل مع ضواغط الطرد المركزية.
- يستعمل كمنظف من النداوة لأجزاء دائرة التبريد.
- يستعمل كمنظف للضواغط عند استبدالها.
- يمكن الكشف عليه بواسطة مشعل (هاليد) Halide torch.
- يحفظ في أسطوانات برتقالية اللون.
-

وسيط التبريد **Dichlorodifluoromethane R12** (CCl_2F_2)

- كان أكثر عائلة الفريون استعمالاً.
- درجة غليانه $-29.4°C$.
- غير سام، وغير قابل للاشتعال أوالانفجار.
- مستقر كيمائياً.
- يذوب في الزيت إلى درجة $-68°C$ مما يجعل الزيت يتكون في المبخر البارد ثم يبدأ الزيت في الانفصال عن وسيط التبريد وبما إن الزيت أخف من الوسيط فإنه يمكن تجميعه على سطح الوسيط السائل.
- يمكن الكشف عليه بواسطة مشعل (هاليد) Halide torch
- يحفظ في أسطوانات بيضاء اللون.
-

وسيط التريد **Tetrafluroethane** $^{(CF_3CH_2F)}$ **- (R134a)**

- من مكونات HFC وهو البديل للفريون $R12$.
- يستعمل في الضواغط الدورانية، الحلزونية، التدحرجية وضواغط الطرد المركزي.
- غير سام، وغير قابل للاشتعال والانفجار ولا يأكل المعادن.
- درجة غليانه $-26.1°C$.

- لا يتفاعل مع الأوزون $(ODP = 0)$.
- معامل الأداء له أقل من فريون R12.
- يذوب في الماء عند درجة حرارة $25°C$.
- يعبأ في أسطوانات لونها أزرق خفيف light blue
- غير منسجم مع الزيوت المعدنية.
- الفلتر له من النوع المنخل الغشائي (molecular sieve).
- يجب عدم استعمال ممتص الرطوبة من نوع السليكون الهلامي (silicone gel)
- يمكن استعمال رغاوي الصابون، الصبغ الفلور سنت (florescent dyes) والكشاف الإلكتروني...الخ لكشف التنفيس.

وسيط التبريد (فريون٢٢) Monochlorodifluoromethane (R22) $(CHClF_2)$

- درجة غليانه $-40.8°C$
- يستعمل في مجموعات تبريد ذات درجات الحرارة المنخفضة التي تستخدم في المصانع والمتاجر، كذلك يستخدم بكثرة في وحدات تكييف الهواء الشباكية والمنفصلة والمركزية.
- يختلط بالماء أكثر من فريون ١٢ لذا يلزم استعمال مجففات للتخلص من النداوة.
- يذوب في الزيت إلى درجة حرارة $-9°C$ وينفصل عن الزيت بنفس الطريقة المذكورة سابقاً.
- يمكن الكشف عليه بواسطة مشعل (هاليد) Halide torch
- يحفظ في أسطوانات خضراء اللون.

مزايا وسيط التبريد ٢٢ على الوسيط ١٢:

- صغر إزاحة الضاغط اللازمة حيث تصل إلى 60% تقريبا من الإزاحة اللازمة عند استخدام فريون١٢.فإذا أخذنا ضاغطا ذا إزاحة معينة فإن سعة التبريد عند استخدام R22 تكون أكبر بحو إلى 60% من سعة التبريد عند استخدام R12.
- مواسير التبريد عند استخدام R22 تكون أصغر منها عند استخدام R12.
- قابلية الوسيط R22 لامتصاص النداوة (الرطوبة) أكبر بكثير من قابلية الوسيط R12 لذلك فإن R22 أقل تعرضا لمشكلات تجمد الماء.

- عندما تكون درجة حرارة المبخر بين $-29°C$ و $-40°C$ فإن الضغط في المبخر يكون أعلى من الضغط الجوي في حالة R22 أما بالنسبة R12 فإن الضغط يكون أقل من الضغط الجوي عند نفس هذه الدرجات.
- ما عدا ذلك فإن الوسيط R12 هو الأفضل نظرا لانخفاض درجة حرارة التصريف وامتزاجيته التامة للزيت.
-

وسيط التبريد (فريون٥٠٢) $R502 \ \{CHClF_2 + C_2ClF_5\}(R22 + R115)$

- يتكون من 48.8% من R22 + 51.2% من R115.
- غير قابل للاشتعال وغير سام.
- لا بأكل المعادن.
- مناسب للحصول على درجات حرارة منخفضة ومتوسطة(من $-18°C$ إلى $-51°C$).
- يستخدم في تجميد الأطعمة والآيس كريم.
- يستخدم في الضواغط الترددية فقط.
- درجة غليانه $-46°C$ عند الضغط الجوي.
- يجمع بين المواصفات الجيدة لكل من R12 وR22.
- يعطي سعة التبريد لفريون R22 مع درجة حرارة تكثيف R12 أي بضغط تصريف (condensing pressure) قليل نسبيا مما يطيل من عمر الضاغط وعمر الصمامات وبقية أجزاء الضاغط.
- له خواص تزييت جيدة نسبة لزيادة درجة لزوجة الزيت مع درجة حرارة التكثيف المنخفضة.
- بسبب انخفاض درجة حرارة المكثف فإن الضاغط لا يحتاج إلى تبريد كما يحدث لفريون ٢٢ (R22).
- يحفظ في أسطوانات (orchid) اللون.

النشادر (الأمونيا) **R717**(NH_3)

- من وسائط التبريد غير العضوية.
- مستقر جداً.
- سام للغاية.
- قابل للاشتعال والانفجار لحد ما.

- له خواص حرارية ممتازة ويعطي تأثيرا تبريديا لكل kg أعلى من أي وسيط آخر لذا يستعمل في مصانع الثلج ومصانع التعليب وغرف التخزين الباردة الكبيرة.
- درجة غليانه هي $-33°C$ عند الضغط الجوي.
- ضغطا التشغيل(الع إلى والمنخفض) أعلى من R12 وR22 لذا فهو يحتاج إلى مواسير أقوي نسبياً.
- يعمل على تآكل المواد غير الحديدية كالنحاس والنحاس الأصفر لذا يجب تجنب استعمالهما.
- لا يمتزج مع الزيت – لذا يلزم عمل الاحتياط لإزالة الزيت من المبخر وتركيب جهاز لفصل الزيت على خط التصريف في مجموعات النشادر.
- يتم الكشف عليه باستخدام شموع من الكبريت لأنها تعطي دخاناً أبيضاً عند تلامسها مع النشادر.

ثاني أكسيد الكبريت $SO_2(R764)$

- سام جدا لأنه ينتج من احتراق الكبريت.
- غير قابل للاشتعال وغير قابل للانفجار.
- كان يستخدم في ثلاجات المنازل وبعض التركيبات التجارية البسيطة في الفترة من ١٩٢٠ إلى ١٩٣٠م.
- استبدل بكلوريد الميثل $(CH_3Cl-R40)$ والذي استبدل أخيرا بالفريونات.
- درجة غليانه هي $-10°C$ عند الضغط الجوي.
- لا يمتزج بالزيت لكنه يطفو فوق الزيت مما يسهل عملية فصل وإرجاع الزيت.
- لا يأكل المعادن ولكنه يتفاعل مع النداوة مكونا حامض الكبريتوز (H_2SO_3) والكبرتيك (H_2SO4) وكلاهما شديدا الأكل للنداوة.

ثاني أكسيد الكربون (CO_2-R744)

- غبر سام.
- غير قابل للاشتعال وغير قابل للانفجار.
- نظرا لخواص الأمان التي يتمتع بها فقد استخدم في الماضي في البواخر وفي تكييف الهواء بالمستشفيات والمسارح والفنادق والأماكن الأخرى التي تتطلب الأمان التام.
- أحد عيوبه هو ارتفاع ضغطي التشغيل.

- كذلك من عيوبه إن معامل الأداء له قليل، تقريبا نصف معامل الأداء لأغلب وسائط التبريد الأخرى.
- درجة غليانه هي $-78.7°C$ عند الضغط الجوي وهي أقل من نقطة تجمده $(-56.6°C)$ لذا لا يوجد في حالة السيولة فهو يتسامى (يتحول من صلب إلى بخار مباشرة).
- لا يمتزج مع الزيت، ولذا لا يعمل على تخفيف زيت صندوق المرفق للضاغط وهو أخف من الزيت كالنشادر.

كلوريد الميثيل $CH_3\ Cl - R40$

- درجة غليانه هي $-23.7°C$ عند الضغط الجوي.
- غير سام.
- متوسط القابلية للاشتعال وقابل للانفجار لذا تم الاستغناء عنه كوسيط تبريد واستبدل بالفلوروكربونات.
- يأكل الألمونيوم، الزنك، المغنيسيوم وينتج عن اتحادهما مع كلوريد الميثيل مركبات قابلة للاشتعال والانفجار.
- مع النداوة يعطي حامض الأيدروكلوريك المخفف والذي يأكل المعادن الحديدية وغير الحديدية.
- قابل للذوبان في الزيت لذا يجب مراعاة التخفيف الذي سيحدث للزيت في صندوق المرفق عند اختيار نوعية الزيت.
- يكشف عنه بواسطة محلول الصابون أو مشعل (هاليد) ولكن لا ينصح باستعمال الطريقة الأخيرة هذه نظرا لقابلية الوسيط للاشتعال.

تطبيقات على استخدام وسائط التبريد

الجدول الت إلى يبين بعض الاستخدامات لوسائط التبريد المعروفة والأكثر انتشارا:

وسيط التبريد	الاستخدام
R134a,R22	الثلاجات المنزلية
R134a,R22,R502	مجمدات الأطعمة المنزلية
R134a	مكيفات هواء السيارة
R13,R502	التطبيقات gryogenic
R22,R500	المكيفات المنزلية
R134a,R22	مكيفات المباني العامة -سعة منخفضة
R11,R134a.R22	مكيفات المباني العامة -سعة متوسطة
R11,R134a	مكيفات المباني العامة -سعة كبيرة
R22,CO_2(SOLID)	خدمات توصيلات الأطعمة المنزلية
N_2	انكماش المعادن
R11	العمليات الصناعية
CO_2,N_2	تجميد الأطعمة
R11	للتنظيف، إزالة النداوة

جدول (١ – ١٨): الاستخدامات لبعض وسائط التبريد

يلاحظ إن بعض أنواع وسائط التبريد تصلح لعدة استخدامات.

اختيار وسائط التبريد حسب نوع الضاغط

أحيانا تختار وسائط التبريد حسب نوع الضاغط المستخدم وحسب القدرة المطلوبة للتبريد كما يوضح الجدول التالي:

مجال الاستخدام	نوع الضاغط	وسيط التبريد
للتكييف – سعة 200-2000TR	طرد مركزي Centrifugal	R11
لأنظمة التكييف الكبيرة وأنظمة التبريد.الثلاجات المنزلية كالتي تستعمل لحفظ الأغذية وصناعة الآيس كريم، مبردات المياه..الخ	طرد مركزي Centrifugal ضواغط ترددية Reciprocating دورانية Rotary	R12
التكييف المنزلي والتجاري، وحدات حفظ الأغذية، تجميد الأغذية، وحدات العرض، وللاستعمالات عند درجات الحرارة المتوسطة والمنخفضة	ضواغط ترددية Reciprocating طرد مركزي Centrifugal	R22
الثلاجات ومكيفات الشباك المنزلية خاصة عندما تكون الذبذبة 50 Hz	ضواغط ترددية Reciprocating	R500
ثلاجات عرض الأغذية المجمدة والآيس كريم والمجمدات المنزلية	ضواغط ترددية Reciprocating	R502
أنظمة التبريد ذات درجة الحرارة المنخفضة – $-90°C$	ضواغط ترددية Reciprocating	R503
أنظمة التبريد ذات درجة الحرارة المنخفضة – $-90°C$	ضواغط ترددية Reciprocating	R13
أنظمة التكييف الصغيرة والمتوسطة وأنظمة التبريد الصناعية	طرد مركزي Centrifugal	R113

جدول (١ – ١٩): نوع الضاغط المستخدم مع بعض وسائط التبريد

أداء وسائط التبريد:

الجدول الت إلى يقارن بين أداء وحدات التبريد المختلفة وذلك عن الأحوال التالية:

- درجة حرارة المبخر $0°C$
- درجة حرارة المكثف $50°C$

وسيط التبريد	التركيب الكيميائي	طاقة التبريد (kJ/m^3)	نسبة الانضغاط $(r=\frac{p_c}{p_e})$	ضغط المكثف (p_c, bar)	معامل الأداء (COP)
R11	CCl_3F	443	5.9	2.4	5.53
R21	$CHFCl_2$	636	5.68	4.0	4.64
R22	$CHCl_2F$	3671	3.88	19.3	5.14
R114	$C_2Cl_2F_7$	784	5.06	4.5	4.61
R717	NH_3	42.75	4.96	20.6	5.53

جدول (١ – ٢٠): مقارنة أداء بعض وسائط التبريد

وسائط التبريد الثانوية **Secondary Refrigerants**

وسائط التبريد الثانوية الأكثر استعمالا هي الماء، كلوريد الكالسيوم، كلوريد الصوديوم، المحاليل الملحية (brines)، الإثلين، الميثانول (methyalcohol) والجلسرين.

الماء هو أكثر الوسائط الثانوية استعمالا حيث يستعمل في أجهزة التكييف الضخمة وعمليات التبريد التي تصل درجة الحرارة المطلوب فيها أعلى من درجة حرارة التجمد للماء.

يعتبر الماء أجود الوسائط الثانوية وذلك للأسباب التالية:

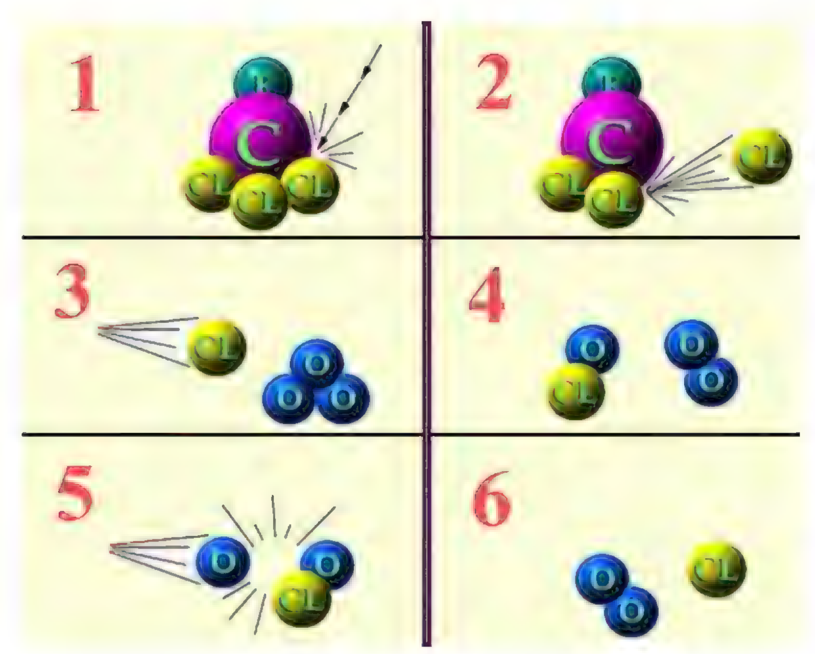
- خواصه الانسيابية.
- حرارته النوعية عالية $(c_p = 4.18kJ/kg)$.
- رخيص الثمن.
- غير مسبب للتآكل نسبياً.

الكلوروفلوروكربونات (CFCs) وطبقة الأوزون

طبقة الأوزون تعمل على امتصاص أشعة بيتا فوق البنفسجية $UV-\beta\, radiation$ لأن وجود كميات كبيرة من $UV-\beta\, radiation$ يعني:

- التأثير على الجلد مما يسبب سرطان الجلد.
- إعتام عدسة العين للإنسان.
- ضعف نظام المناعة.
- التقليل من إنتاجية المحاصيل الزراعية.
- التأثير على المحيطات والأسماك.

جزئيات الكلوروفلوروكربونات تنتشر خلال طبقة الجو العليا منذ ١٥ -٢٠ سنة وعملت على تحطيم طبقة الأوزون كالآتي:



شكل (١ – ٢٤): الأثر البيئي للكلوروكربونات

١) الكلوروفلوروكربونات تتحلل عندما تصطدم بأشعة الشمس البنفسجية لتعطي $C+Cl_2+F_2$
٢) الأشعة تعمل على فصل ذرة الفلورين.
٣) ذرة الفورين تصطدم بذرة الأكسجين (الأوزون).
٤) الأوزون (O_3) يتفاعل مع الكلورين ليعطي Cl_2O.
٥) ذرة الأكسجين الحرة تصطدم مع Cl_2O.

٦) أكسيد الكلورين يتحلل إلى $Cl_2 + O_2$.

أيضا $3Cl_2 + O_3 = 3Cl_2O$ وهكذا

وذلك بوضح لنا التأثير الضخم لوسائط التبريد في تآكل طبقة الأوزون بسبب جزيء واحد من الكلورين.

يسمى تأثير وسائط التبريد على طبقة الأوزون جهد تناقص الأوزون (ozone depletion potential (ODP)) وعليه نجد أن:

- ODP=1 لوسيط التبريد R=11 و ODP=0.5 لوسيط التبريد R=22
- وتسمي زيادة درجة حرارة الكرة الأرضية نتيجة لوسائط التبريد بالجهد الحراري العالمي (Global warming Potential, GWP) وهذه تساوي:

GWP= 1 for CO_2

و GWP=0.05 for CFCs

اتفاقية مونتريال لحماية طبقة الأوزون Montreal Protocol

الاتفاقية تنص على التخلص تدريجيا من تصنيع وسائط التبريد الكلوروفلوروكربونات (CFCs) وذلك كالتالي:

- التخلص من تصنيع وسائط التبريد R12,R11 في الفترة من 1986-2000
- لوسائط التبريد الكلوروفلوروكربونات (CFCs) الأخرى تكون فترة التخلص منها هي:
- 2015-2030 وخاصة R22.
- تم تعديل هذه الاتفاقية عدة مرات.
- الاتفاقية استثنت الدول النامية في الفترة الابتدائية حتى 2005.
- تم تصنيع بدائل لوسائط التبريد صديقة للبيئة مثال ذلك R134a.
- إعادة تشغيل وسائط التبريد مرة أخرى بعد تنقيتها وتنظيفها.
-

وسائط التبريد البديلة **Alternative Refrigerants**

تم تصنيع بدائل لوسائط التبريد صديقة للبيئة لتحل مكان وسائط التبريد القديمة (HFCs) و (HCFCs) لتعمل في مختلف مجالات التبريد وتكييف الهواء. الجدول الت إلى يوضح بعض البدائل واستخداماتها:

وسيط التبريد	بديلاً عن	ملاحـظات
R134a	R12	يستعمل لمثلجات المياه (ضواغط الطرد المركزي أو الحلزوني)
$R407c$ $(R32+R125+R134a)$	R22	يستعمل في النظم المجمعة ـ مثلجات ـ وحدات منفصلة
$R410a$ $(R32+R125)$	للمعدات المجمعة فقط	يعطي لمصنعي المعدات اقتصادية في حجم الوحدة والضواغط
$R413A$ $(R218+R134a+R600A)$	R12	يعمل مع النظام الموجود حالياً
$R417a$ $(R134a+R600a)$	R22	يعمل مع النظام الموجود حالياً

جدول (١ — ٢١): وسائط التبريد البديلة

للأسف، فإن الوسائط البديلة السابقة تؤثر على البيئة بظاهرة البيت الزجاجي (greenhouse effect) مما جعل بعض البلدان كالدنمارك، النرويج والسويد تفكر في التخلص من مثل هذا النوع من وسائط التبريد. عليه بدأ التفكير في تكنولوجيا حديثة ووسائط تبريد بديلة كالتي تستعمل في دوائر الامتصاص. من أمثلة الوسائط البديلة:

أ ـ الهيدروكربونات **HCs** :

لها خصائص تبريد ممتازة مع تأثير قليل على البيئة السبب الذي جعلها تستخدم في الثلاجات المنزلية وبعض نظم التبريد التجارية وكذلك في نظم تكييف الهواء. ولكن هذه الوسائط لها قابلية للاشتعال؛ عليه يلزم استعمال وسائل سلامة أكبر.

ب ـ النشادر R717 $Ammonia\,(NH_3)$

كما ذكرنا سابقاً يستعمل بكثرة في صناعة الأغذية ومخازن التبريد نسبة لخصائصه التبريدية الجيدة. النشادر له ODP=0 و GWP=0 غير إنه سام وقابل للاشتعال في ظروف معينة.

ج ـ ثاني أكسيد الكربون $Carbon\,dioxide(CO_2) - R744$

من حيث السلامة له ODP=0 و GWP منخفض ويعتبر ثاني أكسيد الكربون من الوسائط الممتازة فقط يعيبه التدني في كفاءته للطاقة (low energy efficiency) بسبب تدني درجته الحرجة ($T_{critical} = 31.3°C$) ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال مبادل حراري.

د ـ الهواء Air (R729)

يمكن استخدامه في دورات التبريد غير التقليدية غير إن كفاءته منخفضة.

هـ ـ الماء Water (H_2O) – R718

يعتبر الماء من وسائط التبريد الأمثل لاستعمالات درجات الحرارة العالية ($T > 0°C$) غير إن كبر الحجم النوعي في حالته الغازية (specific vapor volume) يجعل هنالك صعوبة من حيث كبر حجم الضاغط. يستخدم الماء في نظم التبريد بالامتصاص مع بروميد الليثيام (Lithium Bromide).

المحاليل الملحية **Brines**

المحلول الملحي عبارة عن مادة تبريد مساعدة تعمل على نقل الحرارة بدون حدوث تغير في حالتها وتستخدم في أنظمة التبريد غير المباشرة يتكون المحلول الملحي من ماء وملح وتتوقف درجة حرارة تجمد المحلول الملحي على نوع الملح المذاب في الماء ودرجة التركيز به. يلاحظ إنه عند إذابة الملح في الماء فإن درجة حرارة تجمد المحلول تكون أقل من درجة حرارة تجمد الماء.

والأملاح الشائعة الاستعمال هي:

- كلوريد الكالسيوم Calcium chloride($CaCl_2$)

  ويستعمل في الحالات التي تحتاج إلى درجة حرارة حو إلى $-17°C$

- كلوريد الصوديوم Sodium Chloride(NaCl)

  باستعمال هذا الملح أقل درجة حرارة يمكن الحصول عليها هي $-21°C$

ويلاحظ إن تعرض المحاليل الملحية للهواء يساعد على إصابة المعادن بالصدأ خاصة مع كلوريد الصوديوم ولذلك يفضل استخدام كلوريد الكالسيوم.

هناك بعض المركبات التي تذوب في الماء ويطلق عليها مانعات التجمد (Antifreeze solutions) وهي تستعمل عادة لتقليل درجة حرارة التجمد للماء ومنها على سبيل المثال:

- الكحول Alcohol
- الجلسرين Glycerine
- إيثلين الجليكول Ethylene Glycol
- بروبلين الجليكول Propylene Glycol

الخلاصة

- لاختيار وسيط التبريد المناسب، يجب الإلمام بخصائص وسيط التبريد الفيزيائية، الكيميائية الحرارية والبيئية.
- نظرا لطول الاسم الكيميائي لوسائط التبريد، فقد تم تعريف كل وسيط بعدد مكون من رقمين أو ثلاثة للدلالة على التكوين الكيميائي لوسيط التبريد.
- وسائط التبريد يمكن تقسيمها إلى:
  - ♦ الكلوفلوركاربونات (CFC's)
  - ♦ الهيدروكلوركلوفلوركاربونات (HCFC's)
  - ♦ الهيدروفلوركاربونات (HFC's)
  - ♦ توليفة من وسيطين أو أكثر
  - ♦ الوسائط البديلة
  - ♦ الوسائط الثانوية

- حسب تعريف ASHRAE، وسائط التبريد غير العضوية اعطيت لها الرقم 700 زائداً الحجم النوعي للوسيط.أما بالنسبة للوسائط الهايدروكربونات والهالوكربونات، تم وضع الرقم XYZ مصحوباً بعده بالحرف R، حيث الرقم Z من الناحية اليمنى يشير إلى عدد ذرات الفلور، الرقم Y بالوسط يشير إلى عدد ذرات الهايدروجين زائداً واحد والرقم الأخير على اليسار X يشير إلى عدد ذرات الكربون ناقصا واحد .
- أسطوانات وسائط التبريد تميز بالألوان، كل وسيط له لون أسطوانة معينة.
- وسائط التبريد روعي فيها بعض الخصائص الكيميائية، الفيزيائية والحرارية.
- من مميزات وسائط التبريد التوافق مع متطلبات اتفاقيات البيئة (EPA).

تمارين

١) اذكر خمسة من الخواص التي يجب إن يمتاز بها وسيط التبريد.

٢) علل لما يأتي:

أ) سعة التبريد عند استخدام R22 تكون أكبر من سعة التبريد عند استخدام R12 لنفس الضاغط.

ب) مواسير التبريد عند استخدام R22 تكون أصغر منها عند استخدام R12.

ت) حجم الضاغط في حالة استخدام R11 تكون خمسة أضعاف حجمه تقريباً في حالة استخدام R12.

ث) حجم فلتر التجفيف عند استخدام R22 يكون ثلاثة أضعاف حجمه عند استخدام R12.

ج) استخدام مواسير حديدية قوية بدلاً عن مواسير نحاسية في أنظمة التبريد التي تعمل بالأمونيا.

٣) اذكر الخواص المشتركة التي تمتاز بها مركبات الكلوروفلوروكربونات (CFCs).

٤) اذكر أربعة من مزايا فريون R-22.

٥) اذكر لون الأسطوانة التي يحفظ فيها كل من وسائط التبريد التالية:
R-502, R-11, R-12, R-22, R-717

٦) وضح التركيب الكيميائي لكل من وسائط التبريد التالية:
R744 , R40, R502, R134a, R123

٧) رتب وسائط التبريد التالية ترتيباً تنازلياً حسب تأثيرها على طبقة الأوزون:
R12 , R11, R22, R134a

٨) اذكر درجة الغليان - عند الضغط الجوي - لكل من وسائط التبريد التالية:
R717, R11, R502, R134a, R718

٩) استعرض باختصار مميزات وعيوب كل من وسائط التبريد التالية:

أ) R11
ب) R-12
ت) R-717
ث) R502

١٠) وضح تأثير النداوة على دورة التبريد وما هي الطرق المستخدمة للتخلص منها. ما هي العوامل التي تتوقف عليها كمية الرطوبة المسموح بها في دوائر التبريد.

١١) اذكر أسماء الضاغط (أو الضواغط) التي يمكن استعمالها في دورات التبريد الانضغاطية عند استعمالك لكل من وسائط التبريد التالية:

أ) R11
ب) R-12
ت) R-717
ث) R-502

١٢) بإيجاز اكتب ما تعرفه عن المحلول الملحي Brine Solution

١٣) ما هي الطرق المختلفة المستخدمة في الكشف عن التسريب في دوائر التبريد؟

١٤) اذكر أربع من وسائط التبريد الثانوية.

١٥) لماذا يعتبر الماء من أجود وسائط التبريد الثانوية ؟

١٦) اشرح عملية تآكل طبقة الأوزون عن طريق وسائط التبريد.

١٧) ما المقصود بوسائط التبريد الصديقة للبيئة مع التمثيل لذلك؟

اختبار ذاتي

السـؤال الأول

أ - بالاستعانة بمخطط **p-h**، وضح عليه كل من الآتي:

١. خطوط ثبوت درجة الحرارة.	٢. ثبوت الحجم النوعي.
٣. منطقة التحميص.	٤. الجزء الذي يمثل الحرارة الكامنة لوسيط التبريد.

ب - ماذا نعني بكل من:

١. معامل الجفاف.	٢. معامل الأداء لدورة التبريد

ج - بالاستعانة بمخطط كروكي للحالة **(p-h)** اشرح تأثير التبريد الدوني لدورة البخار الانضغاطية على كل من:

١. التأثير التبريدي.	٢. شغل الإنضغاط.

د - في دورة انضغاط البخار البسيطة والتي تعمل بين درجتي حرارة $0°C$ و $50°C$ ، لوسيط التبريد **R11** وجد إن حمل المبخر **36.5 kW**. المطلوب رسم هذه العملية على مخطط **p-h** المرفق ومن ثم بعد ذلك حساب كل من:

١. التأثير ألتبريدي.	٢. معدل سريان وسيط التبريد.
٣. شغل الانضغاط.	٤. معامل الأداء لدورة التبريد.

السـؤال الثاني

ثلاجة تعمل بفريون **R134a** عند درجة تبخير تبلغ $-20°C$ ودرجة تكثيف تبلغ $40°C$ ؛ البخار مشبع عند مدخل الضاغط، ودرجة حرارته بعد الانضغاط هي $70\ °C$ عند ضغط المكثف. احسب الشغل على الضاغط لكل كيلوواط تبريد ومعامل الأداء ثم أوجد الكفاءة الايزنتروبية للضاغط - افرض إنه لا يوجد تبريد دوني للسائل.

السـؤال الثالث

أ ـ اذكر خمسة من المواصفات التي تمتاز بها مركبات الكلوروفلوروكربونات.

ب ـ ما أهم المميزات لوسيط التبريد الأمونيا.

ج ـ اكتب الصيغة الكيميائية لكل من وسائط التبريد التالية:

R22 ، R11 ، R134a ، R744 ، R718

د ـ ما لون الأسطوانة التي يحفظ بداخلها كل من وسائط التبريد التالية:

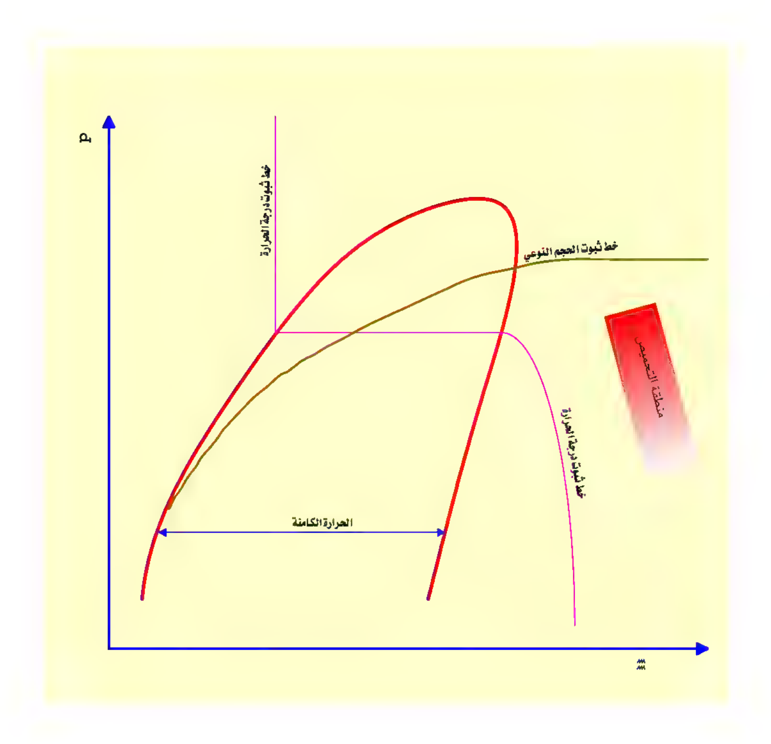
R22 ، R11 ، R134a ، R717

هـ ـ اشرح بإيجاز علاقة الفلوروكربونات بطبقة الأوزون وتأثير ذلك على تلوث البيئة.

الحل:

السـؤال الأول

أ ـ



ب ـ

١. معامل الجفاف (x)

معامل الجفاف = كتلة بخار وسيط التبريد (m_v) مقسوماً على الكتلة الكلية لوسيط التبريد (m).

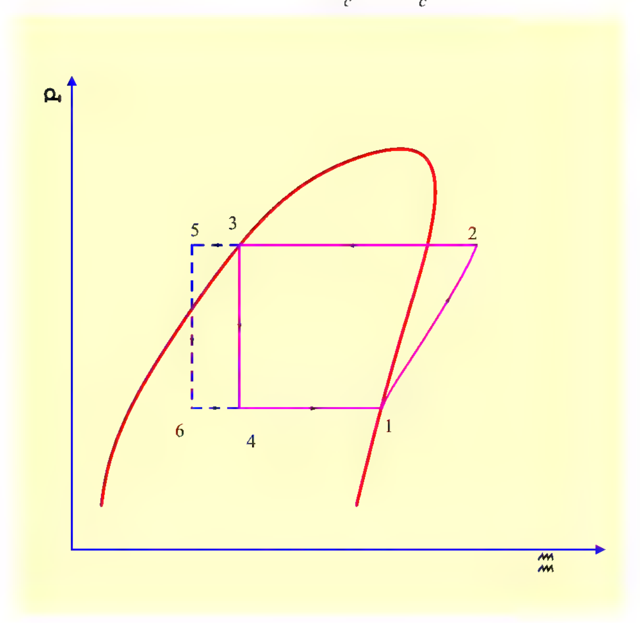
$$x = \frac{m_v}{m}$$

٢. معامل الأداء لدورة التبريد (COP)

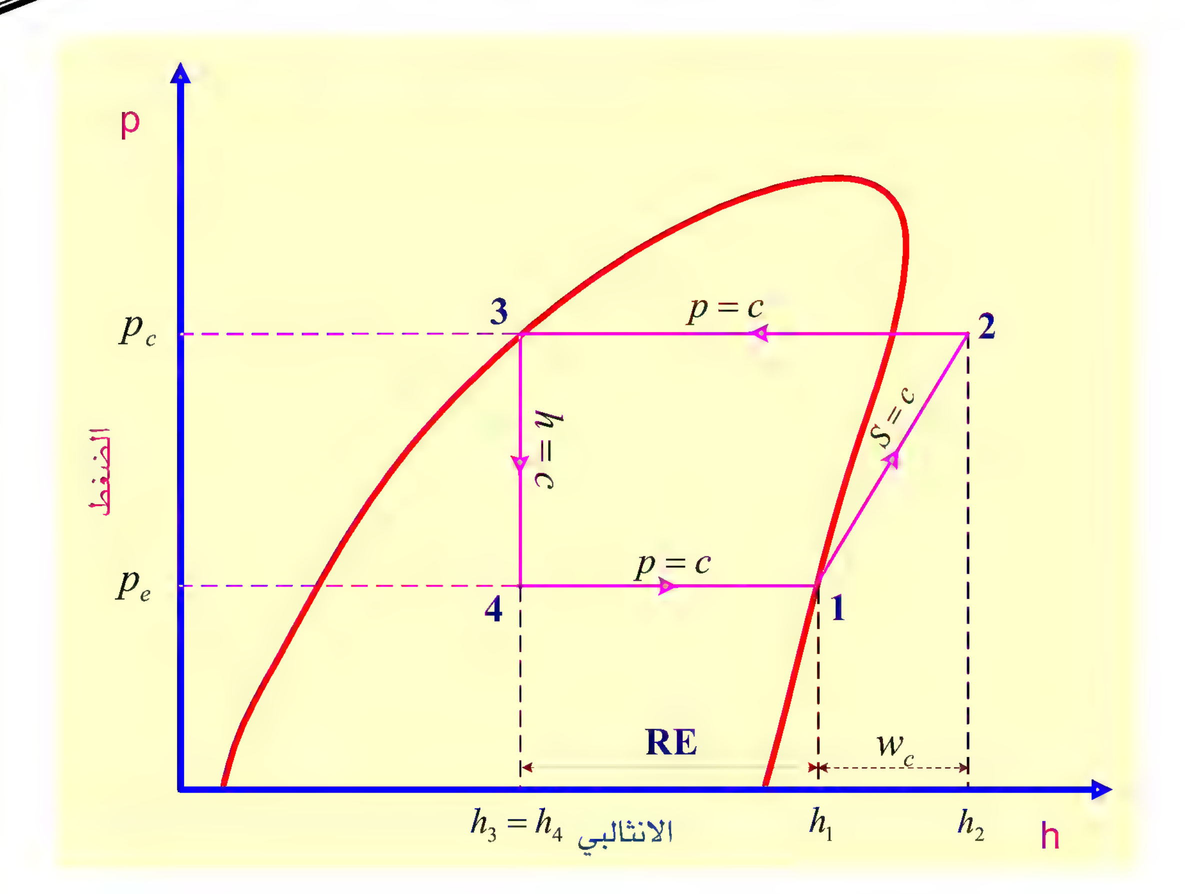
هو نسبة التأثير التبريدي (RE) مقسوماً على شغل الانضغاط (w_c) لكل وحدة كتلة.

أو معامل الأداء لدورة التبريد (COP) يساوي نسبة حمل المبخر (Q_e) مقسوما على شغل الانضغاط الكلي (W_c).

$$COP = \frac{RE}{w_c} = \frac{Q_e}{W_c}$$



التأثير	البيان
زيادة RE	التأثير التبريدي RE
ثبوت W_c	شغل الانضغاط W_c



من خريطة (p-h) لوسيط التبريد R11 ولدورة إنضغاطية بسيطة تعمل بين درجتي حرارة $0°C$ و $50°C$ ، تكون طاقة الإنثالبي عند النقاط الموضحة بالرسم (من 1 إلى 4) كالت إلى :

$h_1 = 391\, kJ/kg$ $\qquad$ $h_2 = 423\, kJ/kg$

$h_3 = h_4 = 245\, kJ/kg$

١. التأثير التبريدي (RE)

$$RE = h_1 - h_4$$
$$= 391 - 245 = 146\, kJ/kg$$

٢. معدل سريان وسيط التبريد $(\dot{m})$

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{RE}$$
$$= \frac{36.5}{146} \qquad = 0.25\, kg/s$$

٣. شغل الانضغاط (W_c).

$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1)$$
$$= 0.25 \times (423 - 391) \qquad = 8\ Kw$$

٤. معامل الأداء لدورة التبريد(COP)

$$COP = \frac{Q_e}{W_c}$$

$$= \frac{36.5}{8} \qquad = 4.56$$

بعد رسم مخطط (p-h) الموضح أدناه، نجد إن

$h_1 = 385.5\,kJ/kg \qquad h_2 = 422\,kJ/kg$

$h_{2'} = 429\,kJ/kg \qquad h_3 = h_4 = 256\,kJ/kg$

التأثير التبريدي (RE)

$$RE = h_1 - h_4$$

$$= 385.5 - 256 \qquad = 129.5\ kJ/kg$$

معدل سريان وسيط التبريد $(\dot{m})$

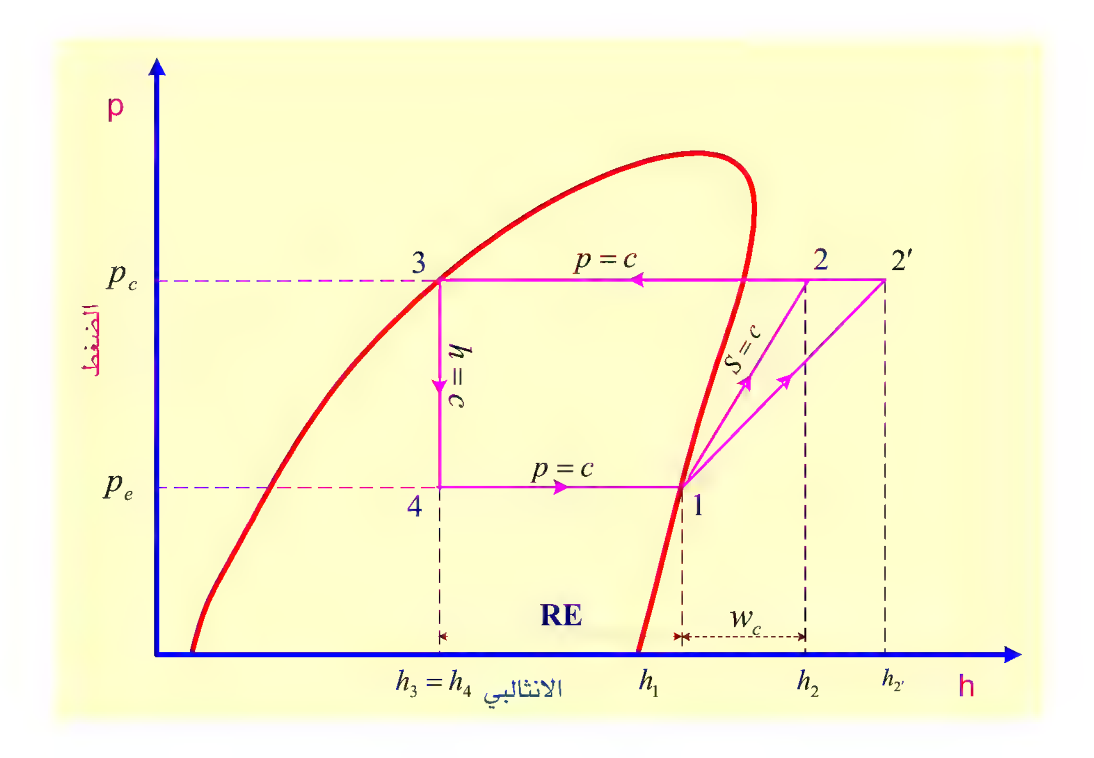
$$\dot{m} = \frac{Q_e}{RE}$$

$$= \frac{1}{129.5} \qquad = 0.0077\ kg/s/kW$$

الشغل على الضاغط لكل kW (W_c)

$$W_c = \dot{m}(h_{2'} - h_1)$$

$$= 0.0077 \times (429 - 385.5) \qquad = 0.336\ kW/kW$$



معامل الأداء لدورة التبريد (COP)

$$COP = \frac{Q_e}{W_c}$$

$$= \frac{1}{0.336} \qquad = 2.98$$

أو

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_{2'} - h_1}$$

$$= \frac{385.5 - 256}{429 - 385.5} = \frac{129.5}{43.5} \qquad = 2.98$$

الكفاءة الايزنتروبية (η_{isent})

$$\eta_{isent} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1}$$

$$= \frac{422 - 385.5}{429 - 385.5} \times 100 \qquad = 84\%$$

السـؤال الثالث

أ ـ خمس من المواصفات التي تمتاز بها مركبات الكلوروفلوروكربونات

- غير سامة
- فير قابلة للانفجار
- غير قابلة للالتهاب
- سهلة الاكتشاف عند تسربها
- غير ضارة بجسم الإنسان عند التلامس

ب ـ أهم مميزات لوسيط التبريد الأمونيا

- من وسائط التبريد غير العضوية
- مستقر جداً
- سام للغاية
- قابل للاشتعال والانفجار لحد ما
- له خواص حرارية ممتازة ويعطي تأثيرا تبريديا لكل kg أعلى من أي وسيط آخر لذا يستعمل في مصانع الثلج ومصانع التعليب وغرف التخزين الباردة الكبيرة.
- درجة غليانه هي $-33°C$ عند الضغط الجوي.

- ضغطا التشغيل أعلى من R12 وR22 لذا فهو يحتاج إلى مواسير أقوي نسبيا.
- يعمل على تآكل المواد غير الحديدية كالنحاس والنحاس الأصفر لذا يجب تجنب استعمالها.
- لا يمتزج مع الزيت – لذا يلزم عمل الاحتياط لإزالة الزيت من المبخر وتركيب جهاز لفصل الزيت على خط التصريف في مجموعات النشادر

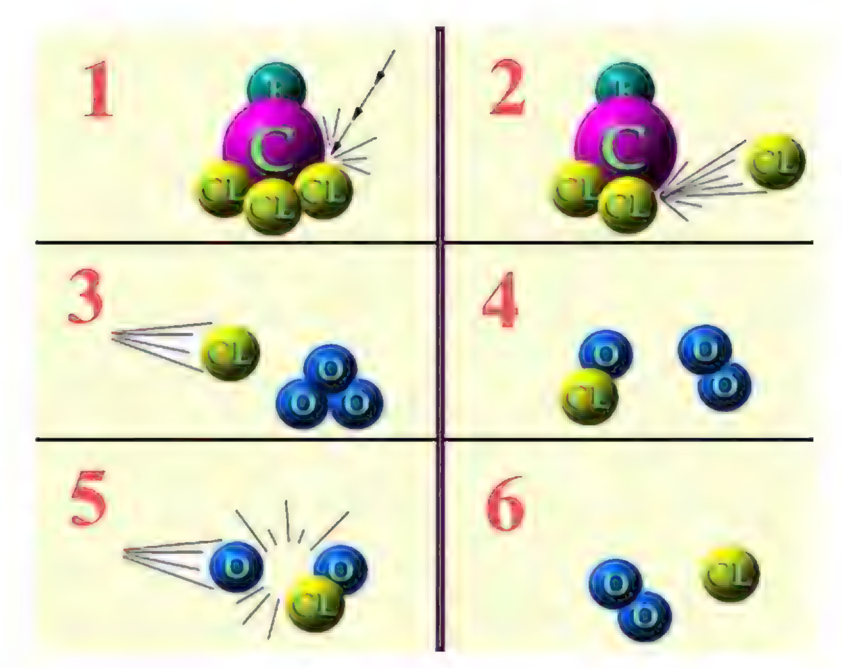
ج-

وسيط التبريد	الصيغة الكيميائية
R22	$CHClF_2$
R11	$CClF_2$
R134a	CF_3CH_2F
R744	CO_2
R718	H_2O

د -

وسيط التبريد	لون الأسطوانة
R22	أخضر
R11	برتقالي
R134a	أرجواني
R717	فضي

هـ - الكلوروفلوروكربونات(CFCs) وطبقة الأوزون



جزيئات الكلوروفلوروكربونات تنتشر خلال طبقة الجو العليا منذ ١٥ -٢٠ سنة، فعملت على تحطيم طبقة الأوزون كالآتي:

١) ـ الكلوروفلوروكربونات تتحلل عندما تصطدم بأشعة الشمس البنفسجية لتعطي:

$C+Cl_2+F_2$

٢) الأشعة تعمل على فصل ذرة الفلورين.

٣) ذرة الفلورين تصطدم بذرة الأكسجين (الأوزون O_3).

٤) الأوزون (O_3) يتفاعل مع الكلورين ليعطي Cl_2O.

٥) ذرة الأكسجين الحرة تصطدم مع Cl_2O.

٦) أكسيد الكلورين يتحلل إلى $Cl_2 + O_2$.

أيضا $3Cl_2 + O_3 = 3Cl_2O$

وهكذا.... .وذلك يوضح لنا التأثير الضخم لوسائط التبريد في تآكل طبقة الأوزون بسبب جزيء واحد من الكلورين.

أساسيات تقنية التبريد والتكييف

أساسيات التكييف

أساسيات التكييف

٢

مقدمة

تطورت صناعة تكييف الهواء منذ عام 1500 حيث استطاع رونالدو دافنشي استعمال مروحة تعمل بالماء لتكييف مبنى ثم تطورت بعد ذلك عملية تكييف الهواء من صناعة المراوح التي تدار يدويا أو ميكانيكيا في كثير من أجزاء العالم حيث كانت بدايتها في الهند.

في عام 1906 أطلق كرامر Stuart Cramer اسم تكييف الهواء (Air Conditioning)- للمرة الأولى - على طريقة التحكم في درجة الحرارة والرطوبة للهواء. وفي عام 1911 توصل المهندس الأمريكي كارير Carrier إلى طريقة التحكم في درجة الحرارة والرطوبة ودرجة الندى للهواء والتي أطلق عليها اسم الخريطة السايكرومترية (Psychrometric Chart) وهي تعد اليوم من أساسيات حسابات هندسة تكييف الهواء. وقد تطورت بعض الصناعات ــ مثل صناعة النسيج والورق ــ بسبب التحكم في كمية الرطوبة و درجة الحرارة للهواء.

ثم تطورت هندسة تكييف الهواء من حيث الاستعمال الصناعي إلى الاستعمال في تبريد (تكييف) المباني والمسارح والمستشفيات (1924). واليوم نشهد نهضة تكييف الهواء في العديد من المجالات ــ مباني، أسواق تجارية، وسائل النقل ..الخ ــ حيث أصبح من متطلبات الحياة العصرية.

وتتناول الوحدة التدريبية الثانية من هذه الحقيبة أساسيات تكييف الهواء وهي تتكون من فصلين: الفصل الأول يُعنى بإنشاء الخريطة السيكرومترية والخصائص المكونة لها والعمليات الأساسية للتكييف. والفصل الثاني يتطرق إلى الأحمال الحرارية من تبريد وتسخين، كما يذكر أحوال التصميم الداخلية والخارجية والعوامل التي تؤثر على راحة الإنسان (منطقة الراحة). بعد ذلك يتعرض الفصل إلى مكونات الأحمال الحرارية عند حالة الاستقرار (steady state)، (تبريد أو تسخين) مع إعطاء أمثلة مبسطة محلولة لكل حالة.

تم وضع ملخص عند نهاية كل فصل من فصول هذه الوحدة وأيضاً تم وضع عدد من التمارين للطالب.

الجدارة: معرفة السيكرومترية والعمليات السيكرومترية المستعملة في مجال تكييف الهواء مع الإلمام ببعض حسابات الأحمال الحرارية البسيطة.

الأهداف:

عندما تكمل هذه الوحدة تكون قادرا على:

- معرفة مكونات وخصائص الهواء الرطب وطرق تحديد الخواص المختلفة له.
- التعرف على الخطوط المختلفة التي تمثل على الخريطة السيكرومترية.
- تمثيل العمليات السيكرومترية المختلفة على الخريطة السيكرومترية، وحساب سعة ملفات التبريد، التسخين والمرطبات وتحديد نقطة الندى لملف التبريد.
- تحديد الظروف الداخلية والخارجية للصيف أو الشتاء وتحديد عوامل الراحة للإنسان.
- عمل بعض حسابات الأحمال الحرارية (تبريد وتسخين).

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى الإتقان الكامل لهذه الجدارة وبنسبة ١٠٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

١٤ ساعة تدريبية.

السيكرومترية Psychrometry

مقدمة

الهواء مكون أساسي لحياتنا اليومية، فهو مهم في استخدامات كثيرة كالتهوية، حفظ الأطعمة، التجفيف كما أنه مهم عند معرفة مستوى الرطوبة في المنزل. في كثير من الأحيان يلزم التحكم في بعض من هذه الخواص كدرجة الحرارة، الرطوبة ونقاوة الهواء..الخ.

تكييف الهواء هو عبارة عن تحكم في درجة حرارة الهواء، رطوبته، نقاوته وسريانه خلال مكان معين للحصول على وسط مريح، خ إلى من الأتربة، والغازات الفاسدة والروائح الكريهة لشاغلي المكان في جميع فصول السنة.

السيكرومترية Psychrometry

الخريطة السيكرومترية توضح بيانيا العلاقة بين درجة حرارة الهواء والرطوبة وخواص أخرى. والخريطة السيكرومترية تستعمل كأداة لاختيار وتحديد بعض الأجهزة والمعدات التي تستخدم في مجالات التكييف.

ولدراسة خواص الهواء يجب معرفة ثلاثة تعاريف للهواء وهي:

أ- الهواء الجوي Atmospheric air

يتكون الهواء الجوي من الأكسجين، النيتروجين، ثاني أكسيد الكربون، الرطوبة وغازات أخرى. كما إنه يحتوي على بعض الملوثات كالغبار والأدخنة، وهو الهواء الذي نتنفسه عادة.

ب ـ الهواء الجاف Dry air

ويعتبر الهواء جافا عند إزالة كل الملوثات والرطوبة من الهواء. وهو عبارة عن 78% (حجمياً)، نيتروجين ،21% أكسجين ، 1% غازات أخرى .

ج ـ هواء رطب Moist air

الهواء الرطب هو خليط من الهواء الجاف والرطوبة.

خصائص الهواء الرطب Properties of Humid Air

باعتبار الهواء غازاً مثالياً يتبع قوانين الغاز المثالي، سوف نقوم بإعطاء بعض القوانين البسيطة للمساعدة في فهم السيكرومترية:

$$pV = mRT$$

حيث:

وباستعمال قانون دالتون للغازات Daltons Law

$$p = p_a + p_v$$

حيث:

الضغط الحقيقي للهواء $p =$

الضغط الجزئي للهواء الجاف $p_a =$

الضغط الجزئي لبخار الماء $p_v =$

الرطوبة النوعية (Specific Humidity ω)

الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) هي مقدار كمية الرطوبة في الهواء لكل 1 kg من الهواء الرطب.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

حيث:

كمية الرطوبة في الهواء بوحدة kg $m_v =$

كتلة الهواء بوحدة kg $m_a =$

وباستعمال قانون الغازات العام:

كتلة الرطوبة $m_v = \frac{p_v V_v}{R_v T_v}$

كتلة الهواء $m_a = \frac{p_a V_a}{R_a T_a}$

الرطوبة النوعية $\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{p_v V_v}{R_v T_v} \times \frac{R_a T_a}{p_a V_a}$

لكن من قانون دالتون

$$V_{mixture} = V_a = V_v$$

$$T_{mixture} = T_a = T_v$$

إذن عليه تكون الرطوبة النوعية $\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{p_v}{R_v} \times \frac{R_a}{p_a}$

وبافتراض إن الضغط الجوي هو (p)يمكن كتابة الضغوط حسب قانون دالتون كالآتي:

$$p = p_a + p_v$$

أو

$$p_a = p - p_v$$

وبما أن:

$$\frac{R_a}{R_v} = \frac{\overline{R}}{28.9} \times \frac{18}{\overline{R}} = 0.622$$

ومن ثم يمكن كتابة الرطوبة النوعية كالآتي:

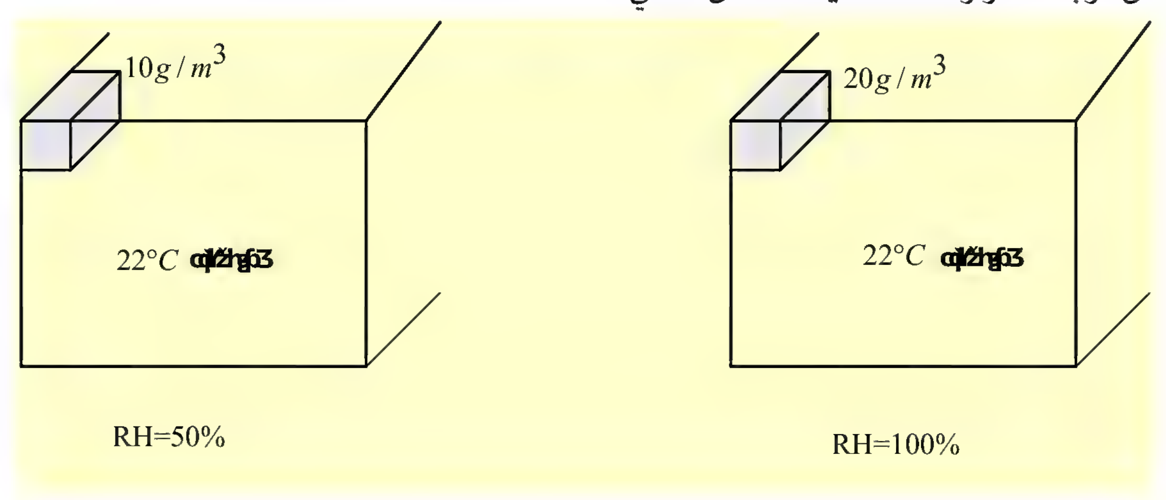
$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

ومن هنا يتضح إن الرطوبة النسبية تتناسب مع ضغط البخار (p_v).

عليه يتحمل الهواء قدر معين من بخار الماء، وأقصى حد يتحمله الهواء عندما تصل p_v إلى درجة التشبع عندئذ يكون الهواء مشبعاً، وزيادة أي رطوبة في الهواء تؤدي إلى التكثيف.

الرطوبة النسبية Relative Humidity(RH)

هي مقياس لنسبة كمية رطوبة الهواء إلى الكمية القصوى التي يمكن إن يحملها الهواء عند نفس درجة الحرارة. فكما في الشكل التالي:

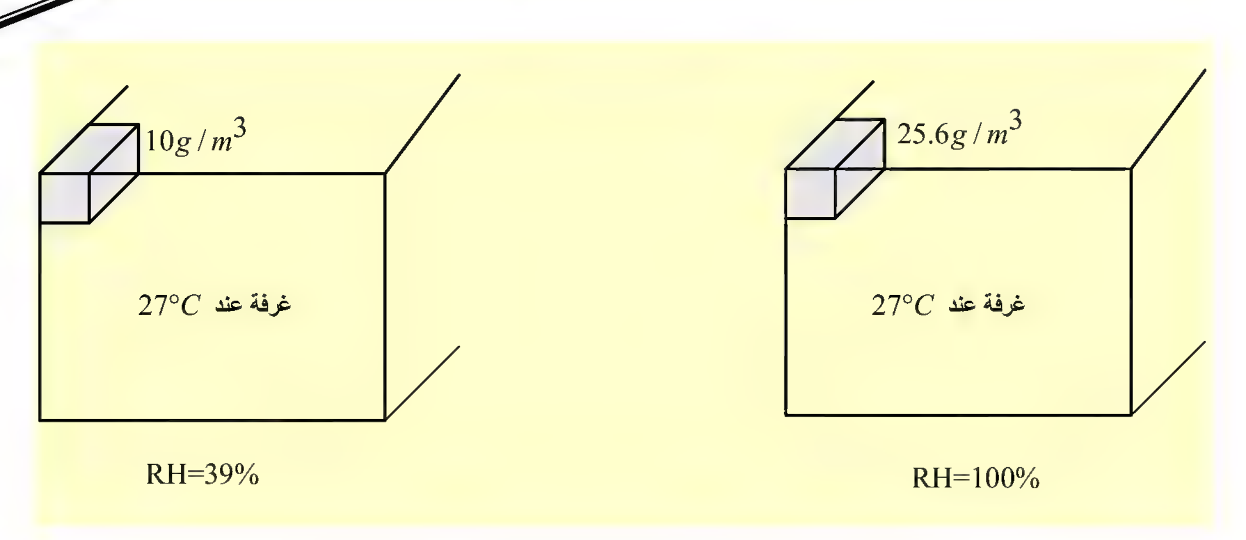


شكل (٢ – ١): الرطوبة النسبية

إذا كانت كمية الرطوبة الموجودة في غرفة تساوي $10g/m^3$ عند درجة حرارة $22°C$. ثم أضيفت رطوبة إلى هواء الغرفة حتى وصل إلى درجة التشبع بحيث لا يقبل أي زيادة في كمية الرطوبة. ووجد إن كمية الرطوبة بعد التشبع وعند نفس درجة الجرارة هي $20g/m^3$ عليه تكون الرطوبة النسبية للهواء هي:

$$RH = \frac{10}{20} = 0.50 = 50\%$$

كمية الهواء التي يمكن إن يحملها الهواء تزيد مع زيادة درجة الحرارة.



شكل (٢ – ٢): زيادة رطوبة الهواء مع درجة الحرارة

فمثلا عند $27°C$ نجد إن كمية الرطوبة التي يمكن إن يتحملها الهواء تصل إلى $25.6g/m^3$ بدلا من $20g/m^3$ ، عليه إذا كانت كمية الرطوبة الموجودة في الحيز تساوي $10g/m^3$ فإن الرطوبة النسبية حينئذ تكون:

$$RH = \frac{10}{25.6} = 0.39 = 39\%$$

ومن تعريف الرطوبة يمكن كتابتها كما يلي:

$$RH = \frac{m_v}{m_g}$$

وباعتبار ضغط التشبع عند درجة الحرارة T هو p_g وضغط بخار الماء هو p_v ؛ وبالتالي يمكن كتابة الرطوبة النسبية كالتالي:

$$RH = \frac{p_v}{p_g} \qquad 0 \le RH \le 1$$

أما الإنثالبي للهواء فهي

$$h = h_a + \omega h_{fg} = c_p T + \omega h_{fg}$$

درجة الحرارة الجافة Dry Bulb Temperature (db)

هي درجة الحرارة المقاسة بواسطة الترمومتر العادي.

درجة الحرارة الرطبة Wet Bulb Temperature (wb)

درجة الحرارة الرطبة عبارة عن أقل درجة حرارة يقيسها الترمومتر الرطب. الترمومتر الرطب عبارة عن ترمومتر زئبقي عادي بصيلته مغطاة بقطعة قماش مبللة. أحيانا تعرف درجة الحرارة الرطبة بدرجة حرارة التشبع الأدياباتية (adiabatic saturation temperature) وذلك لأن الحرارة اللازمة لتبخير الماء من قطعة القماش تؤخذ كلها من الهواء الجوي الذي يمر خلالها عندما تصل قراءة الترمومتر الرطب إلى أقل قيمة لها.وهى تعبر عن التأثير التبريدي لتبخير المياه.

درجة الحرارة الجافة(db) ودرجة الحرارة الرطبة (wb) تقاس في كثير من الأحيان بجهاز واحد يعرف بالمقلاع (sling psychrometer) كما في الشكل التالي:

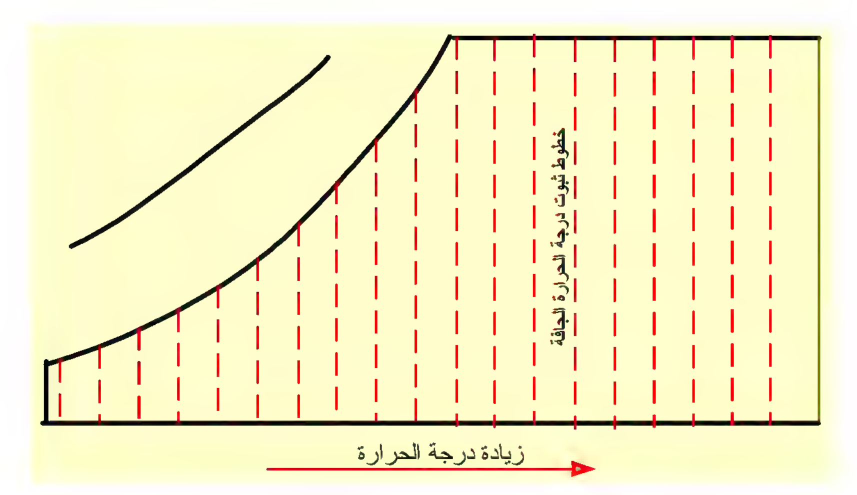


شكل (٢ – ٣): المقلاع

الخريطة السيكرومترية:

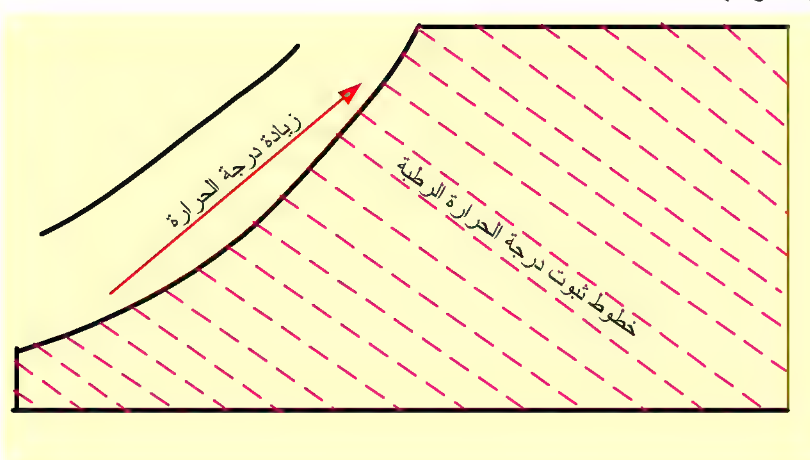
الخريطة السيكرومترية هي أداة تسهل تحديد خصائص الهواء الرطب عند الضغط الجوي عند مختلف أحوال التبريد والتدفئة كما أنها تسهل وتوضح عمليات التكييف المختلفة. الخريطة السيكرومترية تحتوي على سبع خواص للهواء هي:

- خطوط درجة الحرارة الجافة: وهي خطوط رأسية كما في الرسم. وتبين قراءات درجة الحرارة الجافة (db) تبين على المحور السيني في مخطط الخريطة السيكرومترية.



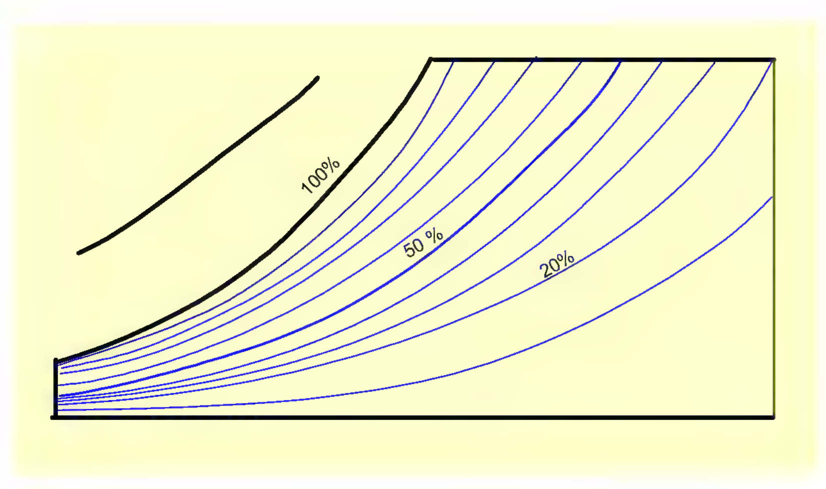
شكل (٢ – ٤): خطوط درجة الحرارة الجافة

- درجة الحرارة الرطبة (wb)



شكل (٢ – ٥): خطوط درجة الحرارة الرطبة

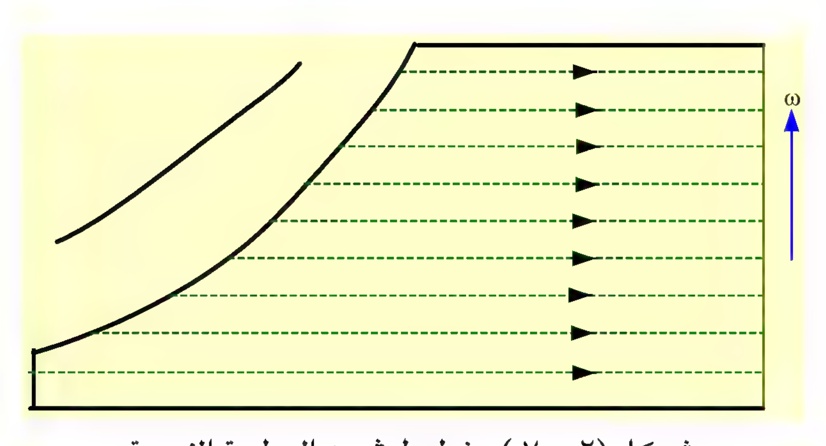
ـ الرطوبة النسبية (RH)



شكل (٢ – ٦): خطوط ثبوت الرطوبة النسبية.

- الرطوبة النوعية(ω)

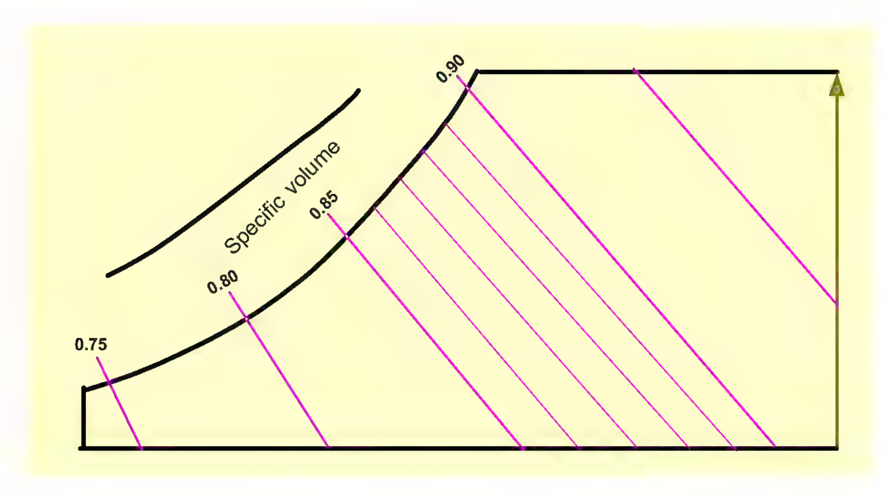
غالبا ما تكون وحدة الرطوبة النوعية هي kg/kg وهي تعني كمية الرطوبة (الماء) الموجودة في كتلة kg من الهواء الجاف وقد تعطي في بعض الأحيان بوحدة g/kg نسبة لصغر كتلة الماء الموجودة في الهواء. وتقرأ من النقطة المحددة في اتجاه اليمين أفقيا كما يشير السهم بالرسم إلى ذلك . قراءات الرطوبة النوعية هي محور الصاد على الخريطة.



شكل (٢ – ٧): خطوط ثبوت الرطوبة النوعية

- الحجم النوعي (v)

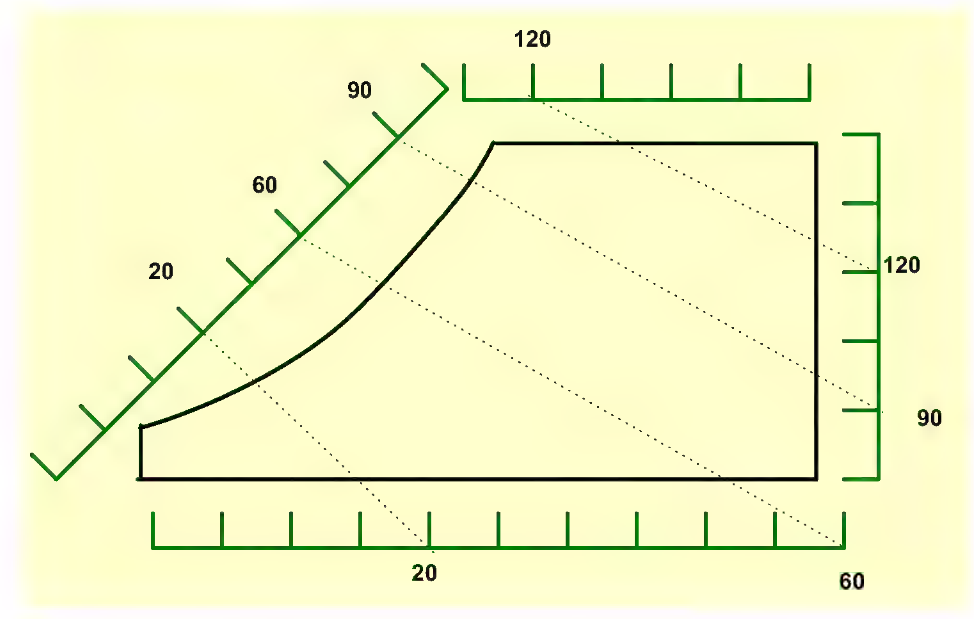
وهو بوحدة m^3/kg وهو أقل من العدد واحد.



شكل (٢ – ٨): خطوط ثبوت الحجم النوعي

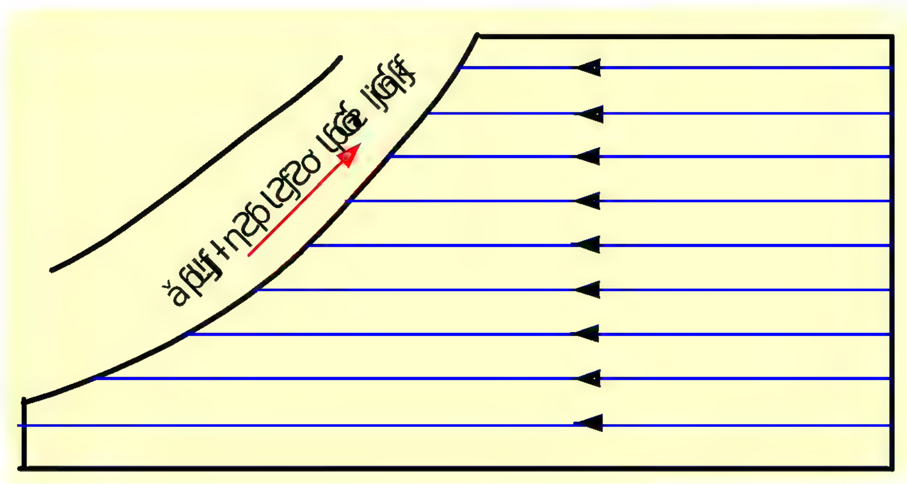
- طاقة الانثالبي (h)

خطوط الإنثالبي توجد على أطراف الخريطة السيكرومترية وفي كثير من الكتب تعتبر خطوط درجة الحرارة الرطبة هي نفسها خطوط طاقة الإنثالبي . لتحديد قيمة الإنثالبي لنقطة ما في الخريطة السيكرومترية يجب إن يتطابق رقمان لهما نفس القيمة عند القراءة كما يظهر في الرسم الت إلى مثلا.



شكل (٢ – ٩): خطوط ثبوت طاقة الانثالبي.

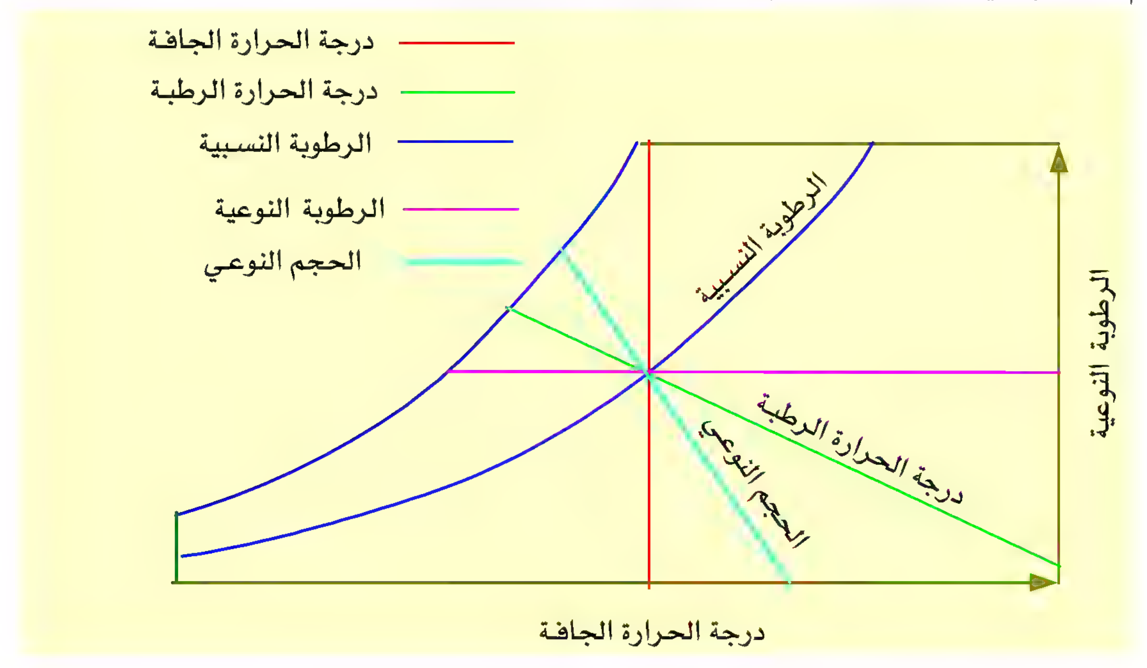
- درجة الندى **Dew point**



شكل (٢ – ١٠): خطوط ثبوت درجة الندى

درجة الندى هي درجة الحرارة التي عندها يتكثف بخار الماء الموجود في الهواء، ويمكن قراءتها عند خط التشبع من قراءات درجة الحرارة الرطبة أو الجافة . وهي تقع على اليسار أفقيا كما يشير السهم إلى ذلك.

والرسم الت إلى يبين خمس من مكونات الخريطة السيكرومترية:

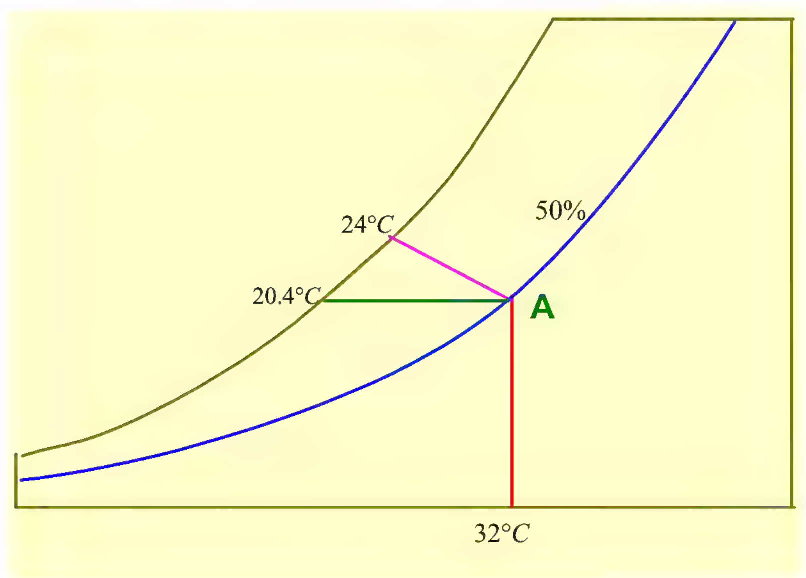


شكل (٢ – ١١): خطوط الخواص السيكرومترية

لتحديد خاصية الهواء عند أي حالة يجب معرفة اثنتين من الخواص الست السابقة.

مثال ٢:

هواء رطب عند $32°C(db)$ و $24°C(wb)$. أوجد الرطوبة النسبية RH ودرجة الندى dp .



شكل (٢ – ١٢):

- حدد $32°C$ على المحور السيني.
- ارسم خطا رأسيا من النقطة $32°C$.
- حدد درجة الحرارة $24°C$ على منحنى درجة الحرارة الرطبة.
- تتبع خط الحرارة الرطبة من النقطة السابقة حتى يتقاطع مع الخط الرأسي لدرجة الحرارة الجافة.
- من نقطة التقاطع(A) حدد حالة الهواء.
- اقرأ الرطوبة النسبية من الخريطة ($RH = 50\%$)
- لتحديد نقطة الندى(dp)؛ اذهب جهة اليسار أفقيا من نقطة التقاطع (A)حتى تقطع خط التشبع، عندها اقرأ درجة الحرارة على خط التشبع ($dp = 20.4^0C$)

استعمل الخريطة السايكرومترية لتتبع حل الأمثلة التالية.

مثال٣:

هواء رطب عند $23°C(db)$ ورطوبة نسبية $RH = 60\%$ أوجد درجة الحرارة الرطبة (wb).

الحل:

- حدد درجة الحرارة الجافة $23\ °C$ على المحور السيني، ومنه ارسم خطا عموديا حتى يقطع خط الرطوبة النسبية $RH = 60\%$.
- من نقطة التقاطع اقرأ درجة الحرارة الرطبة $wb = 18\ °C$

مثال٤:

هواء رطب عند $35\ °C(db)$ وحجم نوعي $v = 0.89\ m^3/kg$. أوجد الرطوبة النوعية (ω) والانثالبي (h).

الحل:

- حدد $35\ °C$ على المحور السيني وارتفع عمودياً حتى يتقاطع مع خط الحجم النوعي عند $v = 0.89\ m^3/kg$.
- من نقطة التقاطع، اذهب بخط أفقي ناحية اليسار حتى تصل إلى محور الرطوبة النوعية. عندها تجد إن الخط يتقاطع بين 0.012 و 0.013 والمسافة بينهما مقسمة إلى خمس مسافات صغيرة . وحيث إن خط الرطوبة النوعية المرسوم من نقطة تقاطع $35\ °C(db)$ و $v = 0.89\ m^3/kg$ يقع على مسافة واحدة أعلى من الرقم 0.012 عليه تكون الرطوبة النسبية للهواء هي $\omega = 0.0122 \frac{kgH_2O}{kgair}$

(ملاحظة: أولاً اكتب الرقم الأسفل من خط ثبوت الرطوبة النوعية ثم احسب عدد المسافات أعلى من الرقم السابق واضربه في 2 ثم ضعه أيمن الرقم الذي قرأته سابقا)

- لقراءة الإنثالبي يجب استعمال مسطرة ومن ثم يقرأ من الإنثالبي الرقم الذي يمر على نقطة التقاطع بحيث تكون المسطرة على نفس الرقمين وعليه نجد إن $h = 67kJ/kg$.

مثال٥:

هواء رطب عند $22\ ^\circ C(db)$ و $RH = 50\ \%$. من الخريطة السيكرومترية أوجد الخصائص التالية :

wb ، ω ، v ، h و dp.

الحل:

- حدد درجة الحرارة الجافة $22\ ^\circ C$ على المحور السيني ومنه ارسم خطا عموديا حتى يقطع خط الرطوبة النسبية $RH = 50\%$. من نقطة التقاطع اقرأ الخصائص المطلوبة و ستجدها كالآتي:

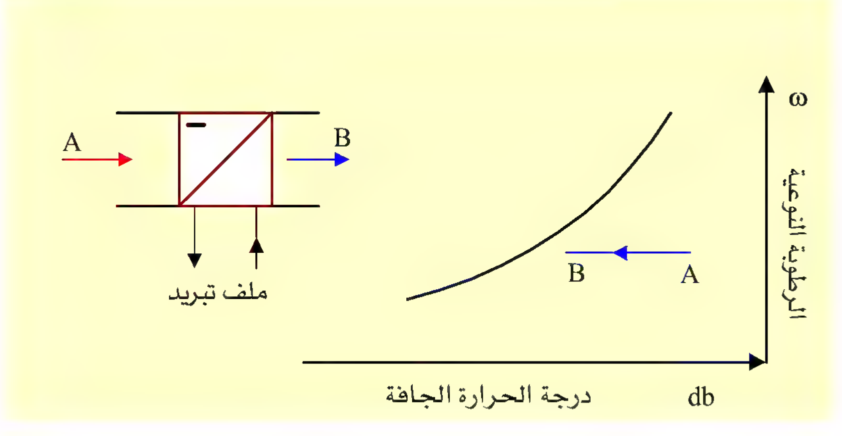
درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
db	wb	RH	ω	v	h	dp
^0C	^0C	%	$\frac{kgH_2O}{kgair}$	m^3/kg	kJ/kg	^0C
22	15.6	50	0.0084	0.847	43.5	11.4

جدول (٢ – ١):

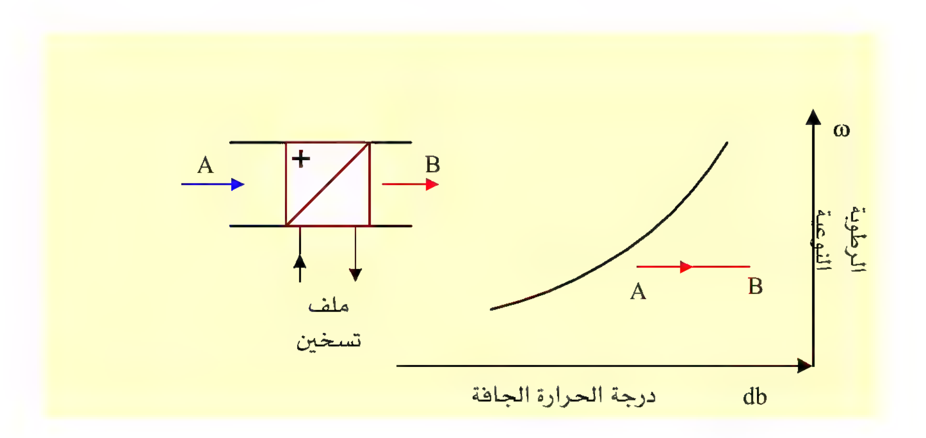
العمليات السيكرومترية Psychrometric Processes

التبريد والتسخين المحسوس Sensible Heating or Cooling

العمليات الحرارية المحسوسة هي عمليات يتم فيها إضافة حرارة (تسخين) أو إزالتها (تبريد) من الهواء بدون حدوث تغير في نسبة الرطوبة (مثال ذلك التدفئة الشتوية). هذه العمليات تمثل على الخريطة السيكرومترية بخطوط أفقية موازية لخط درجة الحرارة الجافة.



شكل (٢ – ١٣): التبريد المحسوس



شكل (٢ – ١٤): التسخين المحسوس

نتيجة للتبريد أو التسخين المحسوس يحدث تغير في الدرجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة الرطبة، طاقة الانثالبي، الحجم النوعي والرطوبة النسبية. ويوضح الجدول الت إلى هذا التغير:

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
	db	wb	RH	ω	v	h	dp
التبريد المحسوس	↓	↓	↑	←	↓	↓	←
التسخين المحسوس	↑	↑	↓	←	↑	↑	←

جدول (٢ – ٢): أثر التبريد والتسخين المحسوس على خواص الهواء

حيث يشير كل سهم كما يلي: ← = ثبوت الخاصية، ↑ = زيادة للخاصية ↓ = نقصان للخاصية

يمكن حساب التبريد أو التدفئة المحسوس باستعمال المعادلة التالية:

$$Q = \dot{m}\,(h_2 - h_1)$$

أو

$$Q = \dot{m}\,c_p\,\Delta T$$

يكون التبريد تبريدا محسوسا إذا تم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة الندي.

حيث :

معدل سريان الهواء (= معدل سريان الهواء الحجمي مقسوما على الحجم النوعي) $= \dot{m}$

الحرارة النوعية للهواء $c_p = 1.006\ kJ/kgK$

(غالبا ما نأخذ الحرارة النوعية للهواء $c_{p_a} = 1.0\ kJ/kgK$)

الفرق في درجة حرارة الهواء $\Delta T = \{K\}$

مثال٦:

احسب الحمل على ملف التسخين عند تسخين $1.5 m^3/s$ من الهواء الرطب عند $21°C(db), 15°C(wb)$ بمقدار $20°C$.

إذا كان المائع المستخدم لملف التسخين هو ماء ساخن يدخل الملف عند $85°C$ ويخرج عند $75°C$. احسب كتلة الماء المار في الملف $(c_{p\ water} = 4.18\ kJ/kgK)$

الحل:

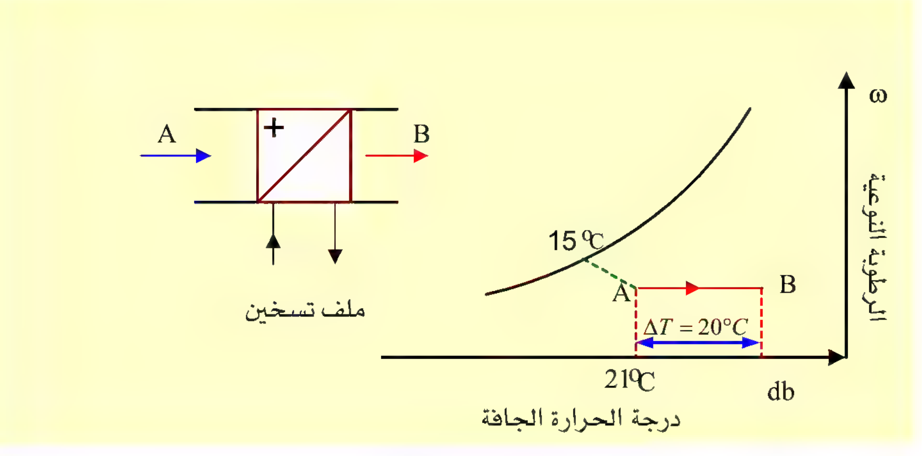
من الخريطة السيكرومترية:

$h_B = 61.5 kJ/kg$ $\qquad$ $h_A = 41.5 kJ/kg$

$$v_A = 0.844 m^3/kg$$

معدل سريان الهواء $(\dot{m}_a)$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v_A} = \frac{1.5}{0.844} = 1.78 kg/s$$



شكل (٢ — ١٥):

الحمل على ملف التسخين (Q_{cc})

$$Q_{cc} = \dot{m}(h_B - h_A) = 1.78(61.5 - 41.5) = 35.6 kW$$

أو

$$Q_{cc} = \dot{m}_a c_p \ \Delta T$$

$$= 1.78 \times 1.0 \times 20 = 35.6 \ kw$$

لحساب كمية الماء $(\dot{m}_w)$ المار في ملف التسخين، وبمعادلة اتزان الطاقة:

الحرارة المفقودة من الماء = الحرارة المكتسبة للهواء(35.6 kW)

$$\dot{m}_w c_{p_{water\Delta}} \Delta T_w = 35.6$$

$$\dot{m}_w = \frac{35.6}{c_{p_{water\times}} \times \Delta T_w}$$

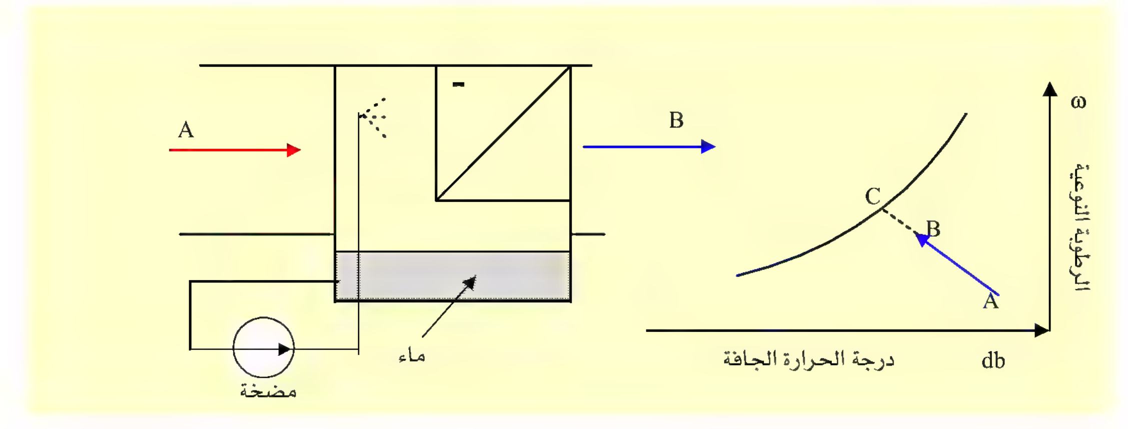
$$\dot{m}_w = \frac{35.6}{4.18 \times 10} = 0.85 kg/s$$

التبريد التبخيري Evaporative Cooling

عملية التبريد التبخيري هي عملية أدياباتية (adiabatic process) بمعنى عدم فقدان أو اكتساب للحرارة. ويمكن الحصول على ترطيب مع تبريد بإحدى الطرق التالية:

- إمرار تيار من الهواء على رشاش ماء.
- إمرار تيار من الهواء على سطح مبتل كبير.
- دفع قطرات من الماء.

أثر التبريد التبخيري للهواء هو التبريد مع الترطيب. وتمثل عملية التبريد التبخيري (الترطيب الأدياباتي) على خريطة السيكرومتري بخط موازي لخطوط ثبوت الانثالبي، غير إنه عند التصميمات الهندسية يمكن تمثيل هذه العملية على خط ثبوت درجة الحرارة الرطبة.



شكل (٢ – ١٦): الترطيب الأدياباتي

اثر التبريد التبخيري يمكن تلخيصه بالجدول التالي:

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
	db	wb	RH	ω	v	h	dp
التبريد التبخيري	↓	↓	↑	↑	↓	←	↑

جدول (٢ – ٣):تأثير الترطيب الأدياباتي على خواص الهواء

إذا كان التأثير لغرفة الرش 100% فإن عملية الرش من A ستتواصل إلى C، وإلا فإن عملية الترطيب ستتوقف عند النقطة B.التأثير لغرفة الرش يعرف بكفاءة الإشباع saturation efficiency (η_s) وتتراوح عملياً بين 80% إلى 90%.

$$\eta_s = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

$$= \frac{w_A - w_B}{w_A - w_C}$$

مثال٧:

$15\frac{m^3}{s}$ من الهواء الرطب عند $45^0C(db)$ و $31^0C(wb)$ تم امراره خلال رشاشات لغسالة الهواء. إذا علمت إن كفاءة الإشباع تساوي 90% ، احسب :

- حالة الهواء عند خروجه من غسالة الهواء
- معدل سريان ماء التعويض

$$\eta_s = \frac{w_B - w_A}{w_C - w_A}$$

من الخريطة $w_A = 0.0226 \frac{kg}{kg}$

$$W_C = 0.028 \frac{kg}{kg}$$

$$0.9 = \frac{w_B - 0.0226}{0.0289 - 0.0226}$$

$$w_B = 0.02827 \frac{kg}{kg}$$

أيضا يمكن حساب درجة الحرارة بعد عملية الترطيب الأدياباتي عند النقطة B

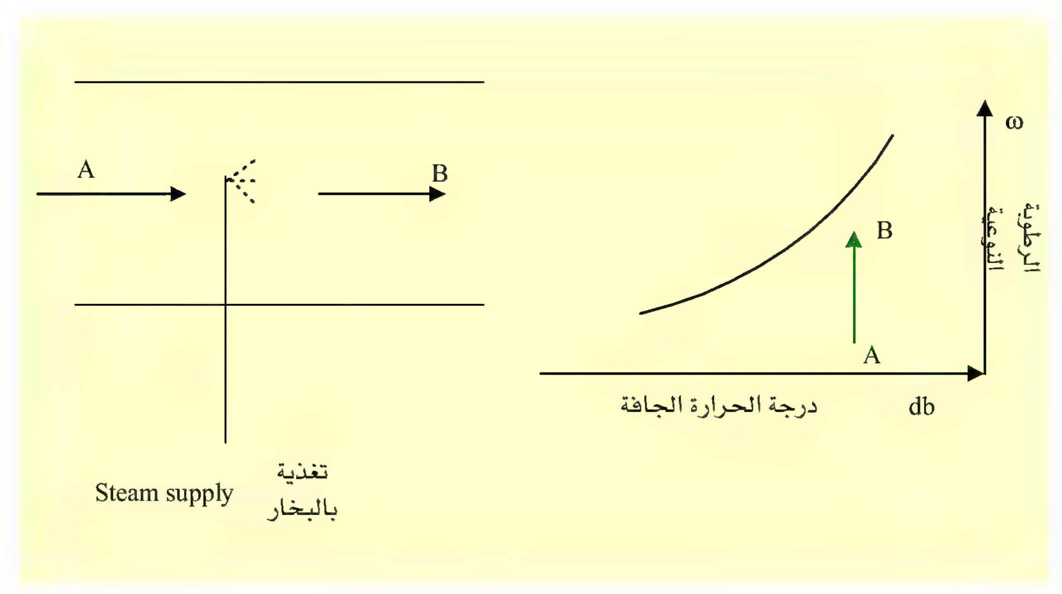
$$\eta_s = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

$$0.90 = \frac{45 - T_B}{45 - 32.5}$$

$$T_B = 33.75\,^0C$$

ملحوظة: بواسطة القياس ومعرفة كفاءة الإشباع، يمكن تحديد النقطة B ومن ثم إيجاد أي خاصية من خواص الهواء التي توضحها الخريطة السيكرومترية وهذه تعتبر من أسهل الطرق.

حقن البخار Steam injection



شكل (٢ – ١٧): حقن البخار

يمكن إضافة الرطوبة إلى الهواء عن طريق حقن بخار، أي ماء متبخر فعلاً، ولا يحتاج إلى إضافة حرارة كامنة (الشكل ٢ ـ ١٧).تحت هذه الظروف لن يبرد الهواء، وسيظل تقريبا عند نفس درجة الحرارة الجافة كما يوضح الشكل السابق. نتيجة لذلك ترتفع رطوبة الهواء ودرجة الحرارة الرطبة، طاقة الانثالبي، الرطوبة النسبية، الحجم النوعي ودرجة الندي.

مثال٨:

يدفع بخار عند $100^0 C$ إلى تيار هواء عند $21^0 C(db)$ و $RH = 50\%$ بمعدل $1kg$ لكل $150kg$ من الهواء الجاف. ماذا تكون حالة الهواء النهائية.

محتوي الرطوبة للهواء قبل الإجراء $\quad w_1 = 0.0079 \frac{kg}{kg}$

الرطوبة المضافة $\quad \Delta w = \frac{1}{150} = 0.0067 \frac{kg}{kg}$

محتوي الرطوبة النهائي $\quad w_2 = w_1 + \Delta w$

$$= 0.0079 + 0.0067 = 0.0146 \frac{kg}{kg}$$

للتحقق من إن الزيادة في درجة الحرارة الجافة طفيفة ويمكن تجاهلها، يمكن حساب ذلك للمثال السابق من:

الحرارة المفقودة من البخار = الحرارة المكتسبة بالهواء

الحرارة المكتسبة بالهواء $\quad Q_{air} = m_a c_p \Delta T_a$

$$= 1.006(t - 21)$$

الحرارة المفقودة من البخار $Q_v = m_v c_{pv} \Delta t_v$

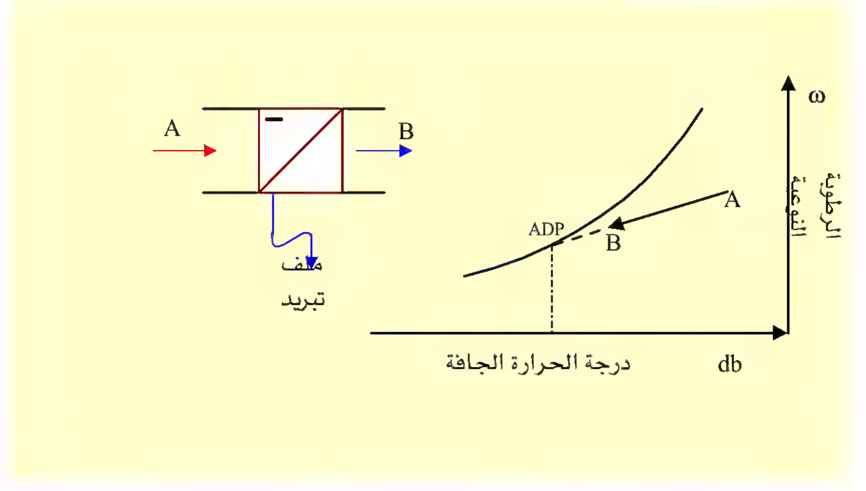
$$= 0.0067 \times 1.972(100 - t)$$

وبمعادلة Q_{air} مع Q_v نجد إن $t = 22.2°C$ عليه يلاحظ إن التغير حو إلى $0.2°C$

عملية التبريد مع إزالة الرطوبة Cooling &dehumidification

يمكن الحصول على عملية التبريد مع إزالة الرطوبة عند:ـ

- عندما يبرد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة الندى للهواء، وعليه يتكثف الهواء ويخرج بمحتوي رطوبة أقل مثلا إن يمر الهواء خلال ماء مثلج عند درجة حرارة أقل من الندى أو إن يلامس الهواء سطحا باردا له درجة حرارة أقل من درجة الندى.والرسم الت إلى يوضح هذه العملية على الخريطة السيكرومترية.



شكل (٢ – ١٨): عملية التبريد مع إزالة الرطوبة

إذا خرج كان الهواء عند خروجه من ملف التبريد عند نفس درجة سطح الملف فإنه يكون عندئذ عند النقطة C. لكنه في الحقيقة لا يصل إلى هذه النقطة إلا إنه في حالة استخدام كميات كبيرة من الماء المثلج في غسالات الهواء– مقارنة بكمية الهواء – ستقترب نقطة الحالة النهائية من درجة حرارة الماء المثلج.

إذا كانت النقطة النهائية القصوى للهواء هي C، وتعرف بنقطة الندى لملف التبريد(ADP) والنقطة الحقيقة للهواء عند خروجه من ملف التبريد هي النقطة B والخط ACيرسم خطا مستقيما لتسهيل

العمل، ويعرف ناتج قسمة المسافة AB على المسافة AC بمعامل التلامس (contact factor) لملف التبريد أو بكفاءة التشبع لغسالات الهواء ويرمز لها بالحرف η

$$\eta = \frac{AB}{AC}$$

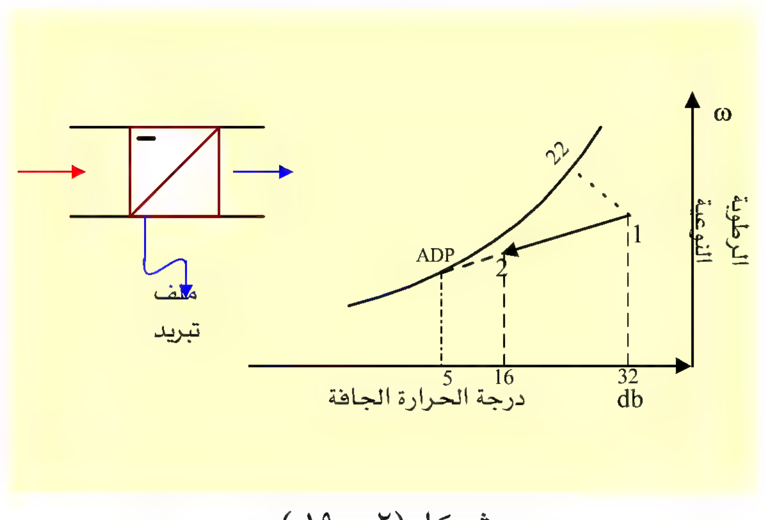
وباستعمال درجات الحرارة:

$$\eta = \frac{T_A - T_B}{T_A - T_C}$$

مثال٩:

هواء خارجي عند $32\ ^0C(db),\ 22\ ^0C(wb)$ تم تبريده مع التكثيف إلى $16\ ^0C$ بواسطة ملف تبريد وذلك قبل امراره إلى الحيز المكيف.سطح ملف التبريد له درجة حرارة $5\ ^0C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية. أوجد خواص الهواء الخارجي وخواص هواء التغذية.احسب معامل التلامس لملف التبريد وأيضا سعة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف لكل $1kg$ هواء جاف.

- الشكل الت إلى يوضح العملية على الخريطة السيكرومترية:



شكل (٢ – ١٩):

اقرأ الخواص عند النقطة (1) والتي تبين خصائص الهواء الخارجي وهي:

$db_1= 32\ ^0C$, $wb_1=22\ ^0C$, $RH_1=40\%$, $w_1 =0.0123$ kg/kg ,
$h_1=63.7$ hJ/kg , $v_1=0.882\ m^3/kg$ $dp_1=17.2\ ^0C$

اقرا الخواص عند النقطة (2) والتي تبين خصائص هواء التغذية وهي:

- $Db_2= 16\ ^0C$, $wb_2=13.2\ ^0C$, $RH_2=73\%$, $w_2 =0.0083$ kg/kg ,
$h_2=37$ hJ/kg , $v_2=0.83\ m^3/kg$ $dp_2=11.2\ ^0C$

- لحساب معامل التلامس استعمل المعادلة التالية:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{ADP}} = \frac{32-16}{32-5}$$
$$\eta = \frac{16}{27} = 0.59(59\%)$$

- كمية ماء التكثيف $(\dot{m}_w)$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_1 - w_2)$$
$$\dot{m}_w = 1(0.0123 - 0.0083) \times 3600$$
$$=14.4 \text{ kg/hr} = 14.4 \text{ L/hr/kg}$$

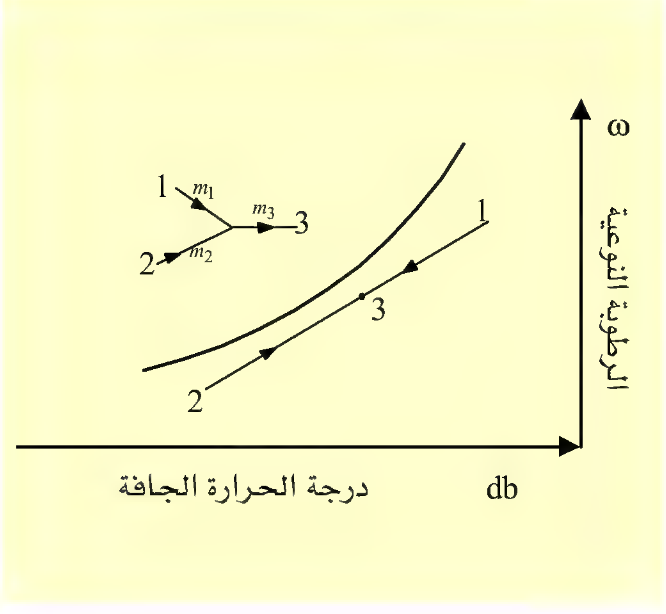
- سعة ملف التبريد (Q_{cc})

$$Q_{cc} = \dot{m}_a (h_1 - h_2)$$
$$= (63.7\text{-}37) = 26.7 \text{ kW /kg}$$

الخلط الأدياباتي **Adiabatic Mixing**

في كثير من الحالات يتم خلط الهواء الخارجي النقي مع الهواء الراجع (بعد الاستعمال) وذلك في وحدة مناولة الهواء.(AHU) عند خلط أي كمية من الهواء مع بعضها البعض يحدث تغير في أحوال الهواء بعد الخلط. عادة يكون خلط مزيجين من الهواء أدياباتياً باعتبار إن كمية فقدان الحرارة مهملا وذلك نسبة لأن وحدة مناولة الهواء غالبا ما تكون معزولة لمنع انتقال الحرارة مع الوسط المحيط.

الشكل يوضح عملية الخلط الأدياباتي حيث (m_1) و(m_2) تياران من الهواء تم خلطهما مع بعضهما البعض لينتج خليطا كتلته (m_3) وخواصه كما تبينه النقطة (3)



شكل (٢ – ٢٠): الخلط الأدياباتي

- باستعمال قانون بقاء المادة:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

وبقاء كتلة بخار الماء

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

وباستعمال قانون بقاء الطاقة:

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$$

و عليه تم استنتاج الآتي:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{w_3 - w_2}{w_1 - w_3}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3}$$

من المعادلة السابقة ومن ملاحظة القيم السابقة على الخريطة السايكرومترية، نجد إن نقطة الخلط (3) تقع على الخط الواصل بين النقطتين (2) – (1) ويقسم الخط داخليا بالنسبة العكسية لكتلتي الهواء (m_1) و(m_2).

كما يمكن تحديد نقطة الخلط (3) باستعمال معادلات مشابهة للآتي:

$$T_3 = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

$$h_3 = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2}$$

$$w_3 = \frac{m_1 w_1 + m_2 w_2}{m_1 + m_2}$$

مما سبق نلاحظ إن عملية القياس هي أسهل الطرق بينما القيم التي تعطيها أي من المعادلات السابقة هي أدق الطرق.

مثال١٠:

هواء رطب عند $60\,°C(db), 32\,°C(wb)$ خلط أدياباتيا مع هواء رطب آخر عند درجة حرارة $5°C(db), 0.5\,°C(wb)$ و.إذا كانت كتلتا الهواء الجاف هما 3 kg ، 2 kg على التوالي.أوجد طاقة الانثالبي، الرطوبة النوعية والحرارة الجافة للخليط.

باستخدام الخريطة السايكرومترية، تحدد النقطة (1) _ $60\,°C(db)$ و $32°C(wb)$

و تحدد النقطة (2) _ $5°C(db)$ و $0.5°C(wb)$

تقسم المسافة (1) ـ (2) بنسبة 3:2 لتحديد النقطة (3)

من الخريطة تقرأ الخصائص التالية:

$h_3 = 69\,kJ/kg$ و $w_3 = 0.0118\,kg/kg$ و $T_3(db) = 38.5°C$

ملحوظة: نقطة الخلط (3) يمكن تحديدها مباشرة من المعادلة

$$T_3 = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

أي $T_3 = \dfrac{3 \times 60 + 2 \times 5}{3 + 2} = 38°C$ وهي أدق من القياس

مثال١١:

$1m^3s^{-1}$ من الهواء الخارجي الرطب عند $-1°C(db), 100\%RH$ تم خلطه مع $2m^3s^{-1}$ من الهواء الراجع عند $22°C, 50\%RH$. ارسم العملية على الخريطة السيكرومترية ثم أوجد حسابياً نقطة الخلط ومن ثم حدد الخواص التالية لنقطة الخلط: الرطوبة النسبية؛ الرطوبة النوعية الإنثالبي والحجم النوعي.

_ حدد النقطتين على الخريطة السيكرومترية ثم أوجد الحجم النوعي عند كل نقطة:

النقطة (1) _ $-1°C(db), 100\%RH$

إذن $v_1 = 0.774\,m^3/kg$

النقطة (2) _ $22°C, 50\%RH$

إذن $v_2 = 0.847\,m^3/kg$

حدد كتلة الهواء الخارجي $(\dot{m}_1)$ $\dot{m}_1 = \frac{1}{0.774} = 1.291 kg/s$

حدد كتلة الهواء الراجع $(\dot{m}_2)$ $\dot{m}_2 = \frac{2}{0.847} = 2.361 kg/s$

كتلة الخلط (هواء التغذية $\dot{m}_3$) هي $\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 1.291 + 2.361 = 3.652 kg/s$

وباستعمال المعادلة التالية يمكن تحديد نقطة الخلط (3):

$T_3 = \frac{\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} = \frac{1.291 \times (-1) + 2.361 \times 22}{3.652} = 13.87°C$ ومن ثم حدد النقطة (3)ومن ثم حدد النقطة على الخريطة. من قراءات الخريطة نحصل على:ـ

$w_3 = 0.0066 kg/kg$ $(RH)_3 = 65\%$

$v_3 = 0.822 m^3/kg$ $h_3 = 30.5 kJ/kg$

أحوال نقطة التغذية Supply Air Conditions

في الصيف(أو الشتاء) يكسب (أو يفقد) الحيز المكيف الطاقة الحرارية من عدة مصادر وهي ما تسمى بأحمال التبريد أو التدفئة ـ والحمل اللازم للتخلص من هذه الأحمال كلها يعرف بحمل التبريد الكلي للغرفة room total cooling load (RTCL) وهذا الحمل يمكن تحليله إلى:

١ ـ حرارة محسوسة Sensible heat (Q_s)

الحرارة المحسوسة هي التي تؤثر على درجة حرارة الهواء (زيادة أو نقصان) ولا تؤثر على نسبة الماء في الهواء مثال ذلك تسخين الهواء كهربائيا أو عن طريق ملفات التدفئة مثلا..

يمكن حساب الحرارة المحسوسة من القانون التالي:

$$Q_s = \dot{m}_a \times c_p \times \Delta T$$

حيث:

معدل سريان الهواء $\dot{m}_a = \{kg/s\}$

الحرارة النوعية للهواء $c_p = \{kJ/kgK\}$

الفرق في درجات الحرارة $\Delta T = \{°C\}$

٢ ـ حرارة كامنة Latent heat(Q_l)

هي الحرارة التي تغير من حالة المادة دون إحداث تغير في درجة الحرارة الجافة وبالنسبة للهواء فالحرارة الكامنة هي التي تؤثر على نسبة كمية بخار الماء في الهواء فقط وهي تحسب عن طريق :

$$Q_l = \dot{m}_a \times h_{fg} \times \Delta w = \dot{m}_a \times \Delta h$$

حيث :

الحرارة الكامنة للهواء $h_{fg} = \{kJ/kg\}$

كمية التغير في رطوبة الهواء $\Delta w = \{kg/kg\}$

التغير في طاقة الإنثالبي $\Delta h = \{kJ/kg\}$

معادلات الحرارة المحسوسة و الحرارة الكامنة تستخدم لإيجاد أحوال التغذية المطلوبة.

مثال١٢:

حيز مكيف له حمل محسوس $Q_s = 16kW$ وحمل كامن $Q_l = 6.4kW$. يراد الاحتفاظ بالحيز المكيف حدد أحوال نقطة التغذية.

من معادلة الحرارة المحسوسة $Q_S = \dot{m}_a \times c_p \times \Delta t$

$$\therefore \quad T_R - T_S = \frac{Q_S}{\dot{m}_a \times c_p} = \frac{16}{1.5 \times 1.006} = 10.6°C$$

$$T_R - T_S = 10.6°C$$

عليه تكون درجة الحرارة الجافة لهواء التغذية $T_S = 25 - 10.6 = 14.4°C$

ومن المعادلة: $Q_l = \dot{m}_a \times h_{fg} \times \Delta w$

$$\Delta\omega = w_R - w_S = \frac{Q_l}{\dot{m}_a \times h_{fg}}$$

ومن الجداول $h_{fg} = 2500\, kJ/kg$

عليه التغير في كمية الرطوبة لهواء التغذية

$$\Delta\omega = w_R - w_S = \frac{Q_l}{\dot{m}_a \times h_{fg}} = \frac{6.4}{1.5 \times 2500} = 0.0017\, kg/kg$$

وبما إن $w_R = 0.012\, kg/kg$ عليه تكون رطوبة هواء التغذية هي:-

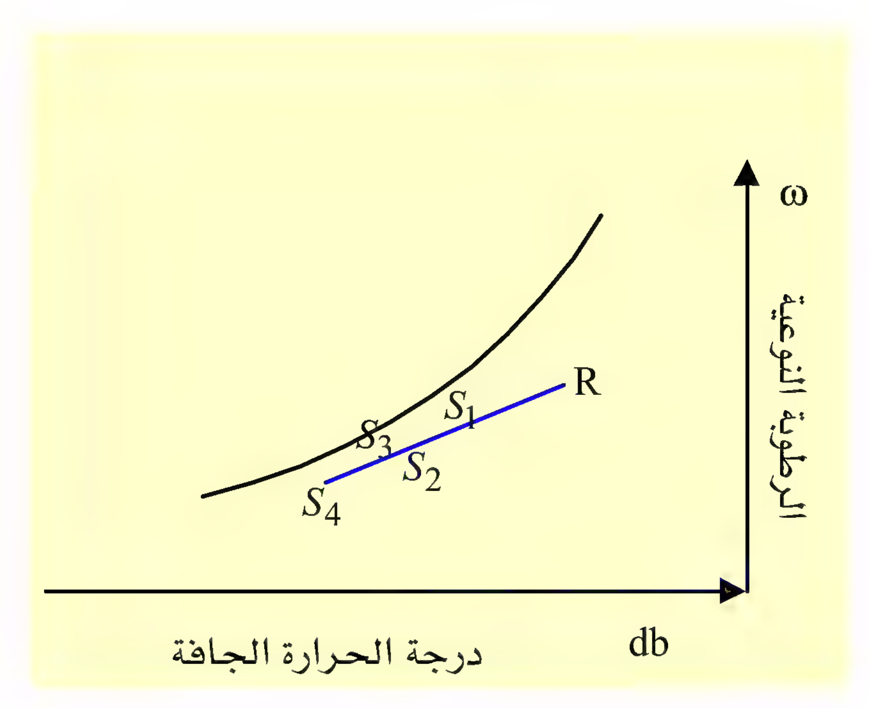
$$\omega_S = \omega_R - \Delta\omega = 0.0102 - 0.0017 = 0.0085 kg/kg$$

وبمعرفة درجة الحرارة الجافة وكمية الرطوبة لنقطة التغذية عليه يمكن تحديد نقطة التغذية (S) على الخريطة السيكرومترية.

إذا تم تغيير معدل سريان الهواء مع بقاء أحوال الغرفة عند $25°C(db),50\%RH$ ـ من $1.5kg/s$ إلى الكميات الأخرى الموضحة بالجدول:

نقطة التغذية	معدل السريان ($\dot{m}$)	أحوال نقطة التغذية (S)	
		درجة الحرارة الجافة (db)	الرطوبة النوعية (ω)
	kg/s	$°C$	kg/kg
S_1	1.5	14.4	0.0085
S_2	2.5	18.6	0.0092
S_3	3.0	19.7	0.0093
S_4	3.5	20.5	0.0095

جدول (٢ – ٤):



شكل (٢ – ٢١): خط معامل الحرارة المحسوس للغرفة

نجد إن أحوال نقطة التغذية (S) تتغير مع ملاحظة إن النقاط S_1, S_2, S_3, S_4, R تقع على خط مستقيم وهذا الخط يسمى بمعامل الحرارة المحسوسة Sensible heat factor (SHF) وأيضا يسمى بخط نسبة الحرارة المحسوسة للغرفة Room Sensible Heat Ratio line (RSHR)

معامل الحرارة المحسوسة Sensible heat factor (SHF)

تعرف نسبة الحمل المحسوس لأي حيز منسوبا إلى الحمل الكلي لهذا الحيز بمعامل الحرارة المحسوسة sensible heat factor (SHF) :

$$SHF = \frac{Q_s}{Q_t} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$$

هذا الخط يبدأ من نقطة أحوال الحيز (الغرفةR) مارا بنقطة التغذية S.

في كثير من الخرط السيكرومترية، نسب هذا الخط (SHF) تكون مرسومة على جانب الخريطة السيكرومترية لسهولة رسم أي خط له نسبة الميلان هذه.

مثال١٣:

مكتب له حمل محسوس $8KW$ وحمل كامن. أحوال الحيز هي. باعتبار أحوال الصيف للجو الخارجي وأخذ $9°c$ فرق درجات حرارة بين نقطة التغذية وأحوال الحيز المكيف، المطلوب تحديد أحوال الحيز ونقطة التغذية على الخريطة السيكرومترية.

- حدد أحوال الحيز من الخاصيتين المعطاتين – النقطة R – $R\ @24°C(db),50\%RH$
- كما إن $Q_s = 8kW$ و $Q_l = 2kW$

$$Q_t = Q_s + Q_l = 8 + 2 = 10kW$$

$$\therefore \quad SHF = \frac{Q_s}{Q_t} = \frac{8}{10} = 0.80$$

- لوجود $9°C$ درجات فرق بين نقطة التغذية S وأحوال الحيز R وبما إن الأحوال هي صيفا؛ عليه تكون درجة حرارة نقطة التغذية تقل عن R بـ $9°C$ أي R عند $15°C(db)$

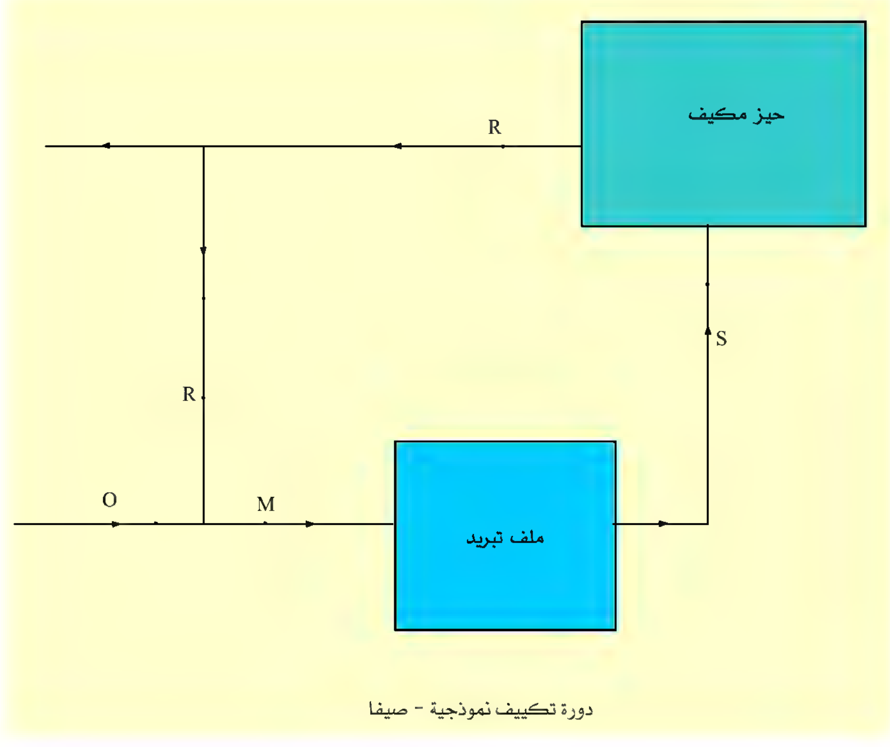
- من الخريطة – حدد نسبة معامل الحرارة المحسوسة SHF=0.80.
- ارسم خطا موازيا لخط SHF، وباستعمال المثلث والمسطرة، اذهب به حتى يلاقي النقطة R ويتقاطع مع خط درجة الحرارة $15°C(db)$ وهذه هي نقطة S
- اقرأ خواص الهواء عند S. $(15°C(db),13°C)$

دورة التكييف الأساسية Basic Air Conditioning Cycle

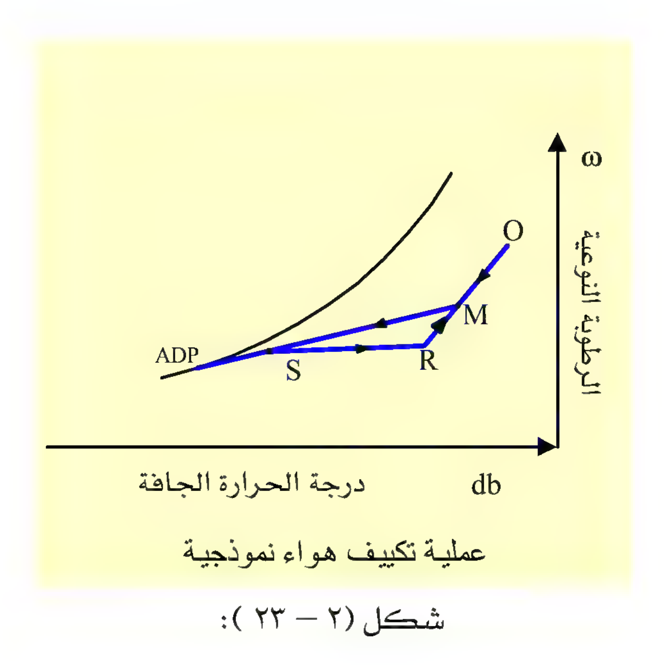
الدورة الأساسية للتكييف تتكون عادة من عدة عمليات تكييف متصلة مع بعضها البعض لتعطي الأحوال النهائية المطلوبة للحيز المكيف. التحليل السيكرومتري لدورة التكييف هو الأداة الرئيسية لتحديد أحوال الهواء عند مختلف النقاط لهذه الدورة، وكذلك لتحديد السعات والكميات الأخرى لدورة التكييف. مثال ذلك تحديد نقطة الخلط، سعة ملف التبريد و/أو التسخين، كمية الرطوبة

المزالة...الخ .وعادة يمكن تقسيم دورة التكييف هذه إلى دورة تكييف مفتوحة open air conditioning (cycle) أو دورة تكييف مقفلة.

والشكلان التاليان يوضحان عملية تكييف هواء نموذجية مقفولة.



شكل (٢ – ٢٢):



شكل (٢ – ٢٣):

يلاحظ فيها إن ظروف الخليط M تقع على خط يصل بين ظروف الغرفةR وظروف الهواء الخارجي O. موقع النقطة M يعتمد على كميات الهواء التي يتم خلطها.فإذا كان الخليط يتكون من 75% من هواء الغرفة (الهواء الراجع) و 25% من هواء التهوية (الهواء الخارجي النقي) فإن M تقع على بعد25% من طول الخط من النقطة R.

وأفضل طريقة لحساب موقع نقطة الخلطM هو استعمال درجة حرارة البصيلة الجافة (db)كمرجع فإذا كانت الغرفة عند $24°C(db)$ والجو المحيط عند $36°C(db)$فإن النقطة M ستكون عند:

$$T_M = \frac{m_O T_O + m_R T_R}{m_O + m_R}$$

$$T_M = \frac{0.25 \times 36 + 0.75 \times 24}{0.25 + 0.75} = 27°C(db)$$

إذا كانت فاعلية ملف التبريد $\eta = 100\%$ فسيبرد كل الهواء إلى درجة الحرارة الفاعلة لسطح الملف أي النقطة ADP (نقطة الندى لملف التبريد) وتعتمد عموما فاعلية الملف على شكله الهندسي إضافة إلى سرعة الهواء خلال الملف. النقطة S تقع على خط معامل الحرارة المحسوس (SHF) للغرفة وعلى امتداد النقطتين M و (ADP).

بعد تحديد كل النقاط يمكن حساب كل من معدل سريان الهواء وسعة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف كما أسلفنا.

خلاصة

- الهواء الجوي يتكون من 78% نيتروجين و 21% أكسجين
- لحد كبير يعتبر الهواء مثاليا ويتبع القانون العام للغازات.
- درجة الحرارة الجافة للهواء هي درجة الحرارة التي يسجلها التيرمومتر العادي..
- درجة الحرارة الرطبة هي أقل درجة حرارة يسجلها تيرمومترمبتل بقطعة قماش .
- المقلاع هو الجهاز الذي يسجل درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة الرطبة . درجة الحرارة الرطبة أقل من درجة الحرارة الجافة نسبة لتبخر الماء من القماش المبتل .
- درجة الندى هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها تكثف قطرات الماء من الهواء عندما يتم تبريده
- الرطوبة النسبية هي مقياس لنسبة كمية رطوبة الهواء إلى الكمية القصوى التي يمكن إن يحملها الهواء عند نفس درجة الحرارة

الرطوبة النوعية (أو الرطوبة المطلقة) هي مقدار كمية الرطوبة في الهواء لكل 1 kg من الهواء الرطب.

الخريطة السيكرومترية هي أداة تسهل إيجاد خصائص الهواء الرطب عند الضغط الجوي عند مختلف أحوال التبريد والتدفئة كما أنها تسهل وتوضح عمليات التكييف المختلفة . الخريطة السيكرومترية تحتوي على سبع خواص للهواء هي.

- درجة الحرارة الجافة (db)
- درجة الحرارة الرطبة (wb)
- الرطوبة النسبية (RH)
- الرطوبة النوعية (ω)
- الحجم النوعي (v)
- طاقة الانثالبي (h)
- درجة الندى Dew point

- لتحديد أحوال الهواء على الخريطة السيكرومترية يلزم معرفة خاصيتين مستقليتين من الخواص السبع.

♦ العمليات السيكرومترية التي تمت دراستها هي:

- عمليات التبريد المحسوس: وذلك عندما يتم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أعلى من درجة الندى وتكون خط هذه العملية على الخريطة السيكرومترية أفقيا من اليمين إلى اليسار.
- عمليات التسخين المحسوس حيث يتم تسخين الهواء كهربيا أو عن طريق الماء الساخن (ملفات تسخين) وبذلك تزداد درجة حرارة الهواء (عملية أفقية من اليسار إلى اليمين)
- عملية الترطيب الأدياباتي وهي تمثل عمليات المكيف الصحراوي وهي تكون عند ثبوت طاقة الانثالبي، غير إن كثيرا من المصممين يعتبرون هذه العملية عند ثبوت درجة الحرارة الرطبة .
- عملية حقن البخار: عملية رأسية على الخريطة السيكرومترية مع ثبوت درجة الحرارة الجافة تقريبا وزيادة كمية رطوبة الهواء
- عملية التبريد مع التجفيف حيث يتم تبريد الهواء إلى درجة حرارة أقل من درجة الندى .

♦ معامل الحرارة المحسوس (SHF) للغرفة يعبر عن نسبة الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكلية للحيز المكيف ويساعد في رسم وتحليل عمليات التكييف المختلفة.

تمارين

١ ـ أكمل الخصائص الناقصة للهواء الرطب عند الضغط الجوي إذا عرفت أي من :

درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية	الرطوبة النوعية	الحجم النوعي	الانثالبي	درجة الندى
db	wb	RH	ω	v	h	dp
^0C	^0C	%	$\frac{kgH_2O}{kgair}$	m^3/kg	kJ/k	^0C
22			0.010			
	16	45				
20						11
	21		0.0134			
		20	0.0084			
		80				15
30				0.88		
		50			90	
				0.86	50	
	25			0.015		

٢ - هواء رطب عند $30°C(db), w = 0.0102kg/kg$ تم تسخينه بمقدار $10\ °C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية ثم أكمل الجدول الت إلى لحالة الهواء بعد التسخين وذلك باستعمال الرموز التالية:(←)= ثابت، (↑)= زيادة، (↓)= نقصان

العملية	db	wb	RH	w	v	h	dp
تسخين محسوس							

٣ - إذا أريد تسخين (محسوس) $16kg/s$من الهواء الرطب عند $15°C(db)$ ورطوبة نوعية $0.005kg\ \ H_2O/kg$ بمقدار $15°C$. احسب سعة ملف التسخين .

٤ـ سخان كهربائي تم تركيبه في مجرى هوائي لتسخين (تسخين محسوس) $200kg/hr$ هواء من $20°C(db),50\%RH$ إلى. أوجد سعة السخان حسابياً وبواسطة الخريطة السيكرومترية.

٥ - $1.5m^3/s$ من الهواء الرطب عند $45\ °C(db)\ ,\ 30\ °C\ (wb)$ تدخل غرفة بها رشاشات لغسالة هواء (ترطيب أدياباتى). إذا كانت درجة حرارة الهواء الجافة عند الخروج تساوى أوجد :ـ

١ ـ كفاءة الإشباع   ٢ - معدل سريان ماء التعويض.

٦ - $1.5m^3/s$ من الهواء الرطب عند $30\,°C\,(db),\ w = 0.0102\ \ kg\ /\ kg$ تم تبريده خلال ملف التبريد إلى $10\ °C\ (db)$. إذا كانت درجة سطح ملف التبريد $5\ °C$. ارسم هذه العملية على الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد:

- معامل التلامس لملف التبريد
- سعة ملف التبريد

٧ - $720m^3/min$ (متر٣ / الدقيقة) من الهواء الرطب عند الأحوال $30°C(db),24°C(wb)$ تدخل ملف تبريد وتخرج من ملف التبريد عند الأحوال التالية: - $15°C(db),90\%RH$. أوجد سعة وكفاءة ملف التبريد وكمية ماء التكثيف بوحدة L/ hr .

٨ - هواء بارد عند $12°C(db),20\%RH$ تم تسخينه إلى $37°C(db)$ ومن ثم ترطيبه أدياباتيا إلى $RH = 90\%$. ارسم هاتين العمليتين على الخريطة السيكرومترية ومن ثم أحسب كفاءة الترطيب.

٩ - $0.5m^3/s$ من الهواء الرطب عند $45°C(db),25°C(wb)$ تم تبريدها إلى $38°C(db)$ بواسطة الماء البارد ثم بعد ذلك تم ترطيبها أدياباتيا في غسالات الهواء.بافتراض كفاءة الترطيب لغسالات الهواء تساوي 90% ،

أ - ارسم العمليتين أعلاه على الخريطة السيكرومترية
ب - أوجد كمية ماء الترطيب

١٠ - $2kg/s$ من الهواء الرطب عند $35°C(db),30°C(wb)$ تم خلطها مع $0.2kg/s$ من الهواء الرطب عند $10°C\ ,\ 100RH$. أوجد خواص الهواء عند نقطة الخلط..

١١ - تم خلط $10kg/s$ من الهواء عند $40°C(db),25°C(wb)$ مع $15kg/s$ من الهواء عند الأحوال $20°C(db),50\%RH$. أوجد الأحوال التالية للهواء الخليط: -

I - درجة الحرارة الجافة   II - الحجم النوعي   III - درجة الندى.

١٢ - غرفة عند $24°C(db),50\%RH$. وحالة الهواء الخارجي $4°C(db),50\%RH$. الهواء الراجع من الغرفة يبرد و تزال رطوبته بعد خلطه مع الهواء الخارجي. إذا كانت نسبة الهواء الراجع 40 % ونسبة الهواء النقي (الخارجي) 60 %. أوجد درجة الحرارة الجافة والرطوبة النوعية للهواء الخليط.

١٣ – في وحدة مناولة هواء (AHU) يتم خلط $0.8kg/s$ من الهواء الخارجي عند $40°C(db),28°C(wb)$ مع $2.4kg/s$ من الهواء الراجع $24°C(db),50\%$. يتم إمرار الهواء المخلوط

خلال ملف تبريد مائي له درجة حرارة السطح تساوي $ADP = 8°C$. بافتراض معامل التلامس لملف التبريد $\eta = 80\%$ ارسم العمليات الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد:

أ ـ سعة ملف التبريد

ب ـ كمية الرطوبة المزالة

١٤ ـ في نظام تكييف ذي مسلك واحد، يتم خلط $1.5kg / s$ من الهواء الخارجي (عند $-4°C(db),80\%RH$ مع $4.5kg / s$ من الهواء الراجع له خواص $20°C(db),50\%RH$. بعد ذلك يتم تسخين الهواء المخلوط إلى $35°C(db)$ ثم يرطب أدياباتيا إلى $19°C(db)$.ارسم هذه العمليات الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد:

أ ـ سعة ملف التسخين

ب ـ كمية ماء الترطيب

١٥ ـ $1.0m^3 / s$ من الهواء الرطب عند $32°C(db),28°C(wb)$تم تبريده إلى $20°C(db), 100\%RH$. أوجد كمية الحرارة الكامنة والمحسوسة اللازمة لتبريد هذا الهواء.

١٦ ـ لحيز مكيف عند وجد إن فرق درجات الحرارة بين نقطة التغذية (S) وأحوال الحيز (R) تساوي $\Delta T = 9K$. مستعينا بالخريطة السيكرومترية أوجد أحوال نقطة التغذية إذا علمت الآتي:

i ـ معامل الحرارة المحسوس للغرفة $SHF = 80\%$

ii ـ الأحوال الخارجية $5°C(db),50\%RH$

١٧ - غرفة عند $21°C(db),50\%RH$ لها حملها المحسوس 14 kW والحمل الكامن 1.5 kW ودرجة الحرارة الجافة لنقطة التغذية هي $12°C$. أوجد معامل الحرارة المحسوس للغرفة ثم الرطوبة النوعية لنقطة التغذية.

١٨ - غرفة يراد تكييفها شتاءً ولها حملها المحسوس 54 kW والحمل الكامن 6 kW . والأحوال الداخلية للغرفة $25°C(db),50\%RH$. والفرق المتوقع في درجات الحرارة بين نقطة التغذية والغرفة $10°C$.

أوجد :ـ

ا ـ معامل الحرارة المحسوس للغرفة.

ب ـ معدل هواء التغذية.

ج ـ أحوال نقطة التغذية

١٩ ـ في نظام تكييف للهواء، يتم خلط 540 L/s هواء خارجي عند $32°C(db),23°C(wb)$ مع 2850 L/s هواء راجع عند $24°C(db),50\%RH$. ثم يبرد المخلوط خلال ملف التبريد ويتركه عند RH % 90 . إذا كان معامل الحرارة المحسوسة للغرفة % 70. أوجد :ـ

I ـ درجة الندى لملف التبريد ii ـ درجة حرارة الهواء الخارج من ملف التبريد

iii. سعة ملف التبريد . iv ـ الحمل المحسوس ، الحمل الكامن ثم الحمل الكلي للغرفة .

٢٠ - وحدة مناولة هواء لتكييف غرفة تتكون من ملف تبريد ومرطب بخار. ومعامل الحرارة المحسوس للغرفة 0.70 ومعدل سريان هواء التغذية $5kg/s$.إذا علمت الآتي :ـ

ـ شروط التصميم الداخلية $24°C(db),50\%RH$

ـ شروط التصميم الخارجية $40°C(db),10\%RH$

ـ الرطوبة النوعية عند نقطة التغذية 0.008 kg / kg (dry air)

ـ الرطوبة النسبية للهواء بعد خروجه من ملف التبريد $60\%RH$.

ـ نسبة الخلط 1/3

ارسم العمليات أعلاه على الخريطة السايكرومترية ثم أوجد:

أ) حمل الغرفة الكلى

ب) سعة ملف التبريد

ج) كمية ماء الترطيب

٢١ - وحدة مناولة هواء لتكييف غرفة تتكون من ملف تسخين ومرطب بخار. ومعامل الحرارة المحسوس للغرفة يساوى 0.90 ومعدل سريان هواء التغذية $5kg/s$ إذا علمت الآتي:ـ

ـ شروط التصميم الداخلية $24°C(db),50\%RH$

ـ شروط التصميم الخارجية $4°C(db),0°C(wb)$

ـ درجة الحرارة الجافة لنقطة التغذية $34°C(db)$

ـ نسبة الخلط (الراجع / الهواء النقي) 1 : 3

بعد رسم العمليات المذكورة على الخريطة السايكرومترية، احسب:ـ

أ ـ سعة ملف التسخين ب ـ حمل الغرفة (المحسوس والكامن)

٢٢ ـ لنظام تكييف صيفي يدفع 950 L/s من الهواء الخارجي خلال ملف تبريد. إذا كانت حالة الهواء الخارجي $35°C(db),25°C(wb)$ وحالة الهواء الداخلية $27°C(db),45\%RH$. معامل الحرارة المحسوسة للغرفة 0.8 والرطوبة النسبية للهواء بعد ملف التبريد 90 % . أوجد :ـ

I ـ درجة الندى للجهاز　　　　ii ـ سعة ملف التبريد

iii ـ كمية ماء التكثيف بوحدة L/hr .

٢٣ـ غرفة حملها المحسوس 5.5 kW و أحوال التصميم للغرفة هي $24°C(db),50\%RH$. والهواء الخارجي عند $35°C(db),27°C(wb)$. نسبة خلط الهواء الخارجي مع هواء الغرفة 1/3 . يبرد مخلوط الهواء خلال ملف تبريد بحيث يترك الهواء ملف التبريد مشبعاً عند $10°C$ وعلى خط معامل الحرارة المحسوس للغرفة. إذا تم خلط جزء من هواء الغرفة مع الهواء الخارج من ملف التبريد بحيث تصبح درجة حرارة تغذية الهواء للغرفة عند $15°C(db)$. احسب:ـ

I ـ معدل سريان الهواء الكلى

ii ـ النسبة المئوية للهواء الراجع من الغرفة (بعد ملف التبريد) مع الهواء الخارج من ملف التبريد

iii ـ حمل الغرفة الكامن والكلي　　　　iv ـ سعة ملف التبريد .

الأحمال الحرارية
THERMAL LOADS
الراحة الحرارية للإنسان Human Thermal Comfort

جسم الإنسان من أدق الأجهزة التي تتحكم في درجة الحرارة. فعندما ترتفع درجة حرارة الجسم بمقدار بسيط عن معدل حرارة الجسم العادي ، يقوم نظام التحكم بتمديد الأوعية الدموية الدقيقة التي تقع تحت الجلد مباشرة حيث يقوم الجسم عن طريق الحمل بنقل كمية كبيرة من الحرارة من داخل الجسم إلى السطح ، عندئذ ترتفع حرارة الجلد وبالت إلى يزداد معدل انتقال الحرارة إلى الخارج عن طريق التوصيل، الحمل والإشعاع . إذا لم يتم التخلص من هذه الحرارة بسرعة، عندئذ يبدأ الجسم بالتعرف للتخلص من كمية كبيرة من الحرارة الكامنة في الجلد عن طريق تبخر العرق ومن ثم يبرد الجسم أكثر وكذلك درجة حرارة الدم تحت الجلد.

عندما تبدأ حرارة جسم الإنسان تنخفض قليلاً عن المعدل الطبيعي . تبدأ الأوعية الدموية بالانكماش وبالت إلى يقل معدل سريان الدم الواصل إلى الجلد الخارجي. Perspiration slows down. عليه تقل كمية الحرارة المفقودة بواسطة سطح الجلد.

عليه يكون من وظيفة أي نظام تكييف للهواء هو مساعدة الجسم في معدل التخلص من كمية الحرارة الزائدة.

يمكن القول بأن الحرارة التي ينتجها الجسم من تناوله للأطعمة، تعادل تلك الحرارة التي يفقدها الجسم إلى الخارج..تم كتابة معادلة لتلك الحرارة بواسطة فانقر Fanger كما يلي:

$$\dot{Q} = \pm\dot{Q}_{skin} \pm \dot{Q}_{respiration}$$
$$= (\pm\dot{Q}_C \pm \dot{Q}_R \pm \dot{Q}_E)_{skin} + (\dot{Q}_C \pm \dot{Q}_E)_{respiration}$$

حيث نجد إن الجسم يكسب (+) أو يفقد (-) للحرارة عن طريق الجلد ($\dot{Q}_{skin}$)أو عن طريق التنفس ($\dot{Q}_{respiration}$) ويكونان عن طريق الحمل ($\dot{Q}_C$) أو الإشعاع ($\dot{Q}_R$)أو التنفس ($\dot{Q}_E$) كما إن وجود الملابس على جسم الإنسان له تأثير على انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع وكذلك التبخر زيادة على ذلك فإن حركة الإنسان لها تأثير على كمية الحرارة التي يستخرجها الجسم نتيجة التأيض metabolic heat generation

العوامل الأساسية التي تؤثر على راحة الإنسان هي:

هنالك ست عناصر تؤثر على راحة الإنسان. منها أربع عناصر بيئية وهي :

أ – درجة الحرارة الجافة (dry bulb temperature)

ب - متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (mean radiant temperature)

ج ـ نسبة الرطوبة (relative humidity)

د ـ سرعة الهواء (air velocity)

وهناك عنصران شخصيان هما:

هـ ـ العزل نتيجة الملابس (clothes insulation)

و ـ مستوى حركة الشخص(level of activity)

أ. درجة الحرارة الجافة للهواء (db)

وفي هذا ننظر إلى مقدار درجة الحرارة ونوعيتها (رطبة أو جافة) كما يجب الانتباه هنا إلى الموقع (الارتفاع عن أرضية الحيز المكيف) الذي يعتمد عند قراءة مثل هذه الحرارة فمثلا يحب وضع الترمومترات(أو الثيرموستات)على ارتفاع بين ″36 – 30 من أرضية الحيز المكيف.أما مقدار درجة الحرارة التي تعطي الراحة فهي تعتمد على الرطوبة وسنأتي لها لاحقا.

وتعرف درجة الحرارة المؤثرة Effective Temperature بأنها درجة الحرارة ـ عند التشبع ـ (عند 100%رطوبة نسبية) والتي تعطي نفس الإحساس بالدفء لمختلف درجات الحرارة والرطوبة عندما تكون سرعة الهواء 15-25 fpm.

ووجد إن درجة الحرارة المؤثرة في الشتاء هي $68\ ^0F(20\ ^0C)$ كما إن التوافقيات التالية هي التي تعطي الراحة للإنسان في الشتاء:

الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة	
	°F	°C
10	78	25.6
20	76	24.4
30	75	23.9
40	74	23.3
50	73	22.8
60	72	22.2
70	71	21.7
80	70	21.1

جدول (٢ – ٥): درجات الحرارة المؤثرة (شتاءاً)

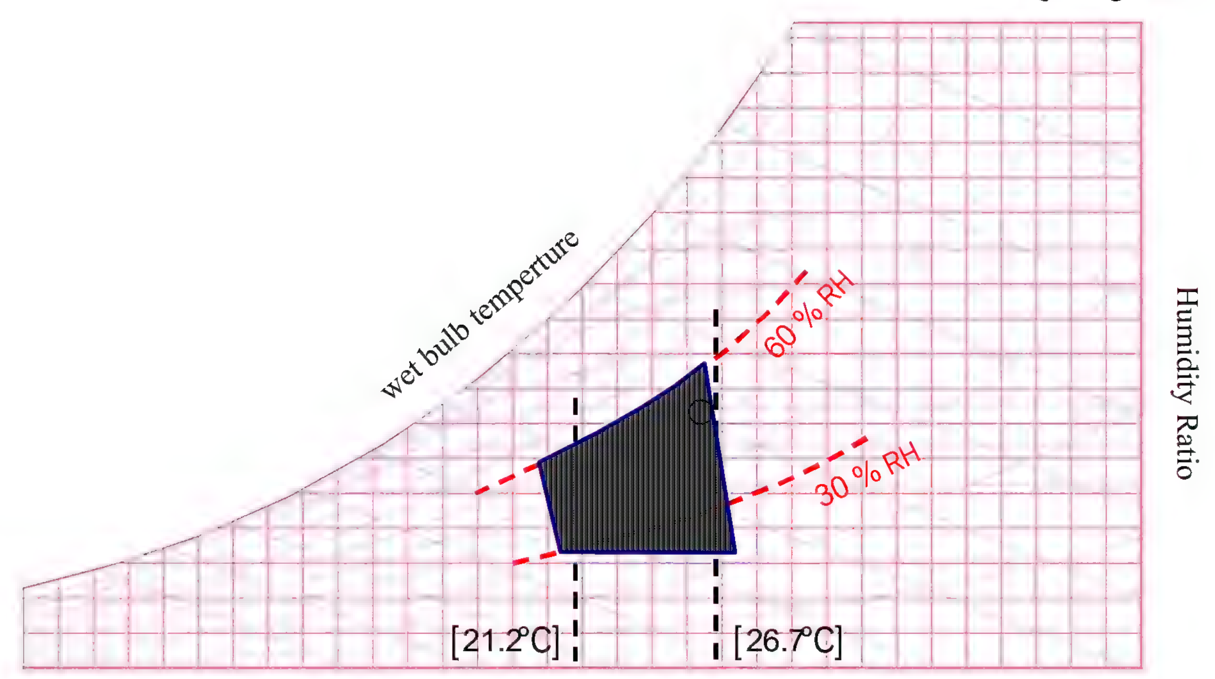
أما في الصيف فدرجة الحرارة المؤثرة هي (22 ^{0}C) 71 ^{0}F كما إن التوافقيات التالية هي التي تعطي الراحة للإنسان في الصيف :

الرطوبة النسبية %	درجة الحرارة	
	^{0}F	^{0}C
25	80	26.7
30	79	26.1
40	78	25.6
50	77	25.0
60	75	23.9
70	74	23.3

جدول (٢ — ٦): درجات الحرارة المؤثرة

(صيفاَ)

ومن ثم تم عمل خريطة الراحة comfort zone عند مختلف درجات الحرارة والرطوبة وخريطة منطقة الراحة تعطي العلاقات المختلفة بين درجات الحرارة والرطوبة والتي يشعر فيها للشخص البالغ بالراحة وهو في حالة مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة



dry bulb temperature

شكل (٢ — ٢٤): منطقة الراحة

ب ـ سرعة الهواء

وجد إنه في حالة زيادة درجة حرارة الهواء فإنه يلزم الزيادة في سرعة الهواء . الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة، التبريد وتكييف الهواء (ASHRAE) توصي بسرعة $30\ ft/\min$ للهواء صيفاً و $30\ ft/\min$ للهواء شتاء .

جـ ـ متوسط درجة الإشعاع **Mean radiant temperature** :

كثيرا ما يشعر الأشخاص الذين يكونون بجانب الجدران الباردة أو الأسطح الزجاجية ببرودة أكثر بالرغم من إن درجة حرارة الوسط المحيط في حدود منطقة الراحة.

د ـ نسبة الرطوبة **(relative humidity)**

تم التعليق عليه في الفقرة (أ)

أما العنصران الشخصيان وهما :

هـ ـ العزل نتيجة الملابس **(clothes insulation)**

الملابس حقيقة تجعلك مرتاحاً في يوم قد يكون حاراً أو بارداً وهي تعمل على عزل الجسم عن درجة الهواء الخارجي . ففي الشاء يستحسن زيادة العزل (ملابس ثقيلة) ، أما في الصيف فالملابس البيضاء والخفيفة (تقليل سمك وطبيعة العازل) هي الأحسن (يستحسن الملابس القطنية الطبيعية)

و ـ مستوى نشاط الشخص**(level of activity)**

كما اشرنا سابقاً ، يحافظ الجسم على درجة حرارته عن طريق توليد حرارة الأيض داخل الجسم ، فقدان الحرارة للخارج وثالثاً اكتساب الحرارة . والحرارة المتولدة من الشخص تعتمد على نوع النشاط بالنسبة للشخص حيث وجد إن متوسط كمية الحرارة المتولدة من الشخص العادي النائم تساوي تقريباً 87 W والذي يعمل في مكتب 115 W أما الذي يزاول رياضة كرياضة كرة السلة مثلا فكمية الحرارة المتولدة في هذه الحالة تساوي 440 W . زيادة النشاط الجسماني يؤدي إلى زيادة الرطوبة في الجسم نتيجة العرق والذي بدوره يعمل على تبريد الجسم .

كما لا يفوتنا إن نذكر هنا بأن الهواء الداخلي يجب إن يكون خاليا من الأتربة والروائح الكريهة، كما إن نسبة ثاني أكسيد الكربون يجب إن لا تزيد عن 1000 ppm. لذا يلزم استعمال مرشحات ومنقيات للهواء وهذا ما يعرف بكفاءة الهواء الداخلي (Indoor Air Quality, IAQ)

تخمين الأحمال الحرارية Thermal Load Calculation

إكتساب وفقدان الحرارة لحيز التكييف يقصد به كمية الحرارة التي تدخل أو تخرج لحظيا من الحيز والحمل الحقيقي للحيز يعرف بأنه كمية الحرارة التي تضاف أو تفقد لحظيا بواسطة الحيز.

الحمل الحراري في عمليات التكييف

الحمل الحراري في عمليات التكييف نوعان:

- حمل تبريد: وذلك صيفا عندما تكون الأحمال الحرارية المختلفة تضيف أو تزيد من درجة حرارة المكان المراد تكييفه.
- حمل تسخين: وذلك شتاء عندما تعمل الأحمال الحرارية المختلفة على تقليل درجة حرارة المكان المراد تكييفه.

مصادر حمل التبريد

يمكن تقسيم مصادر حمل التبريد إلى نوعين:

أ ـ أحمال خارجية External loads ومنها:

i -الحرارة المنقولة من الخارج إلى الداخل خلال الحوائط – السقف ـ الأرضية وذلك بالتوصيل الحراري ويطلق عليها باختصار حمل الحوائط Wall loads

ii- الحرارة المنقولة من الخارج والناتجة من تأثير الشمس Solar gains OR Sun Loads وتتكون من نوعين

-حرارة الإشعاع المباشر عن طريق النوافذ الزجاجية

-حرارة منقولة بالتوصيل الحراري عن طريق الجدران والأسقف المعرضة مباشرة لأشعة الشمس

iii- الحرارة المنقولة من الخارج إلى الداخل عن طريق التسرب Infiltration Load أو عن طريق هواء التهوية.Ventilation Load.

ب ـ أحمال داخلية Internal Loads ومنها:

- حرارة ناتجة عن الأشخاص
- حرارة ناتجة عن الإضاءة
- حرارة ناتجة عن المعدات الكهربائية أو الحرارية التي تتواجد داخل المكان.

كما يمكن تقسيم الأحمال الحرارية إلى أحمال محسوسة Sensible Loads (Q_s) وأحمال كامنة Latent Loads (Q_l)

عليه يمكن تقسيم الأحمال الحرارية لأي حيز مكيف على النحو التالي:-

- الكسب الحراري بسبب انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران والشبابيك Q_w
- الكسب بالإشعاع الشمسي خلال زجاج الشبابيك وخلال الجدران Q_{rad}.
- الكسب الحراري الداخلي من الأشخاص والإنارة والمكائن وخلافه Q_i
- الحمل الحراري نتيجة التهوية أو التسرب خلال الفتحات Q_v
- مصادر حرارية أخرى Q_m

عليه يمكن كتابة الأحمال الحرارية الكلية Q_T للحيز المكيف كما يلي:

$$Q_T = Q_{rad} + Q_i \pm Q_w \pm Q_v \pm Q_m$$

وفي حالة $Q_T > 0$ تزداد درجة حرارة الحيز المكيف (صيفاً)

في حالة $Q_T < 0$ تنخفض درجة حرارة الحيز المكيف (شتاء)

ظروف التصميم Design Conditions

تؤثر أحوال التصميم الداخلية والخارجية على مقدار الأحمال الحرارية للحيز المكيف وعليه يتم اعتبار قيم معينة لدرجة الحرارة الجافة والرطبة وكذلك الرطوبة النسبية لكل من أحوال التصميم الخارجية و الداخلية. وعادة يتم اختيار وحدة نظام التكييف أكبر وقد تعمل في كثير من الأحوال عند أحمال جزئية مما يقلل من كفاءة الوحدة، لكنه وجد إنه في الحالات الحرجة ولمدة محددة من الوقت إن نقصان حجم وحدة التكييف بمقدار بسيط قد لا يؤثر كثيرا على راحة الإنسان وعليه غالبا يكون الاختيار على 97.5% من أحوال التصميم.

أحوال التصميم الخارجية Outdoor Design Conditions :

بالنسبة لمدينة الرياض قد تم اختيار شهر يوليه ليناسب أحوال التصميم الخارجية مع اعتبار القيم التالية كأحوال تصميم خارجية صيفا:

a dry-bulb temperature (db) 43°C

b- wet-bulb temperature (wb) 26°C

بالنسبة لمدينة الرياض قد تم اختيار شهر يناير ليناسب أحوال التصميم الخارجية مع اعتبار القيم التالية كأحوال تصميم خارجية شتاء:

a- dry-bulb temperature (db) $3°C$

b- $0°C$ wet-bulb temperature (wb)

hr	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Jun.	
	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb
1	15.38	12.44	17.00	14.22	20.33	17.28	22.89	18.61	25.67	20.56	27.33	21.61
2	14.44	12.06	16.11	13.89	19.44	17.00	22.00	18.33	24.78	20.06	26.44	21.38
3	13.72	11.83	15.39	13.61	18.72	16.72	21.28	18.11	24.06	19.83	25.72	21.17
4	13.17	11.61	14.83	13.39	18.17	16.56	20.72	17.89	23.50	19.67	25.17	21.00
5	13.00	11.50	14.67	13.33	18.00	16.50	20.56	17.89	23.33	19.61	25.00	20.94
6	13.33	11.67	15.00	13.44	18.33	16.61	20.89	17.94	23.67	19.72	25.33	21.06
7	14.22	12.00	15.89	13.78	19.22	16.89	21.78	18.28	24.56	20.00	26.22	21.28
8	15.83	12.67	17.50	14.39	20.83	17.44	23.39	18.78	26.17	20.44	27.83	21.78
9	18.17	13.50	19.83	15.22	23.17	18.17	25.72	19.44	28.50	21.11	30.17	22.39
10	20.83	14.50	22.50	16.17	25.83	19.00	28.39	20.28	31.17	21.89	32.83	23.11
11	23.83	15.56	25.50	17.17	28.83	19.49	31.39	21.11	34.17	22.67	35.83	23.83
12	26.67	16.56	28.33	18.06	31.67	20.72	34.22	21.89	37.00	23.39	38.67	24.56
13	28.83	17.28	30.50	18.72	33.83	21.33	36.39	22.50	39.17	23.94	40.83	25.11
14	30.22	17.72	31.89	19.17	35.22	21.72	37.78	22.83	40.56	24.33	42.22	25.44
15	30.78	17.89	32.44	19.33	35.78	21.89	38.33	23.00	41.11	24.44	42.78	25.56
16	30.22	17.72	31.89	19.17	35.22	21.72	37.78	22.83	40.56	24.33	42.22	25.44
17	29.00	17.33	30.76	18.78	34.00	21.39	36.11	22.56	38.89	24.00	41.00	25.17
18	27.06	16.67	28.72	18.17	32.06	20.83	34.61	22.00	37.39	23.50	39.06	24.67
19	24.72	15.89	26.39	17.44	29.72	20.22	32.28	21.39	35.06	22.89	36.72	24.11
20	22.44	15.11	24.11	16.67	27.44	19.50	30.00	20.72	32.78	22.28	34.44	23.50
21	20.44	14.39	22.11	16.00	25.44	18.89	28.00	20.17	30.78	21.78	32.44	23.00
22	18.67	13.72	20.33	15.39	23.67	18.33	26.22	19.61	29.00	21.28	30.67	22.50
23	17.28	13.22	18.94	14.94	22.28	17.89	24.83	19.22	27.61	20.89	29.28	22.17
24	16.22	12.78	17.89	14.50	21.22	17.56	23.78	18.89	26.56	20.56	28.22	21.83

جدول (٢ – ٧): درجات الحرارة الجافة والرطبة لمدينة الرياض

RIYADH COOLING DESIGN TEMPERATURE PROFILE

hr	July		August		Sept.		Oct.		Nov.		Dec.	
	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb	db	wb
1	27.09	21.61	27.89	21.61	26.44	20.56	24.00	19.00	19.78	16.89	16.44	13.78
2	27.00	21.39	27.00	21.39	25.56	20.33	23.11	18.72	18.89	16.56	15.56	13.44
3	26.28	21.17	26.28	21.17	24.83	20.11	22.39	18.50	18.17	16.33	14.83	13.17
4	25.72	21.00	25.72	21.00	24.28	19.94	21.83	18.33	17.61	16.17	14.82	13.00
5	25.56	20.94	25.56	20.44	24.11	19.89	21.67	18.28	17.44	16.11	14.11	12.94
6	25.89	21.05	25.89	21.05	24.44	20.00	22.00	18.39	17.78	16.22	14.44	13.06
7	26.78	21.28	26.78	21.28	25.33	20.24	22.89	18.67	18.67	16.50	15.33	13.38
8	28.39	21.78	28.39	21.78	26.94	20.72	24.50	19.17	20.28	17.06	16.94	14.00
9	30.72	22.79	30.72	22.39	29.28	21.39	26.83	19.83	22.61	17.78	19.28	14.83
10	33.39	23.11	33.39	23.11	31.94	22.11	29.05	20.61	25.28	18.67	21.94	15.78
11	36.39	23.89	36.39	23.89	34.94	22.89	32.50	21.50	28.27	19.56	24.94	16.78
12	39.22	24.56	39.22	24.56	37.78	23.67	35.33	22.22	31.11	20.39	27.78	17.72
13	41.39	25.11	41.39	25.11	39.94	24.17	37.50	22.83	33.28	21.00	29.94	18.39
14	42.78	25.44	42.78	25.44	41.33	24.56	38.89	23.22	34.67	21.39	31.33	18.83
15	43.33	25.56	43.33	25.66	41.89	24.67	39.44	23.33	35.22	21.56	31.89	19.00
16	42.78	25.44	42.78	25.44	41.33	24.56	38.89	23.22	34.67	21.39	31.33	18.83
17	41.56	25.17	41.56	25.17	40.11	24.22	39.67	22.89	33.44	21.06	30.11	18.44
18	39.61	24.67	39.61	24.67	38.17	23.72	35.72	22.33	31.50	20.50	28.17	17.83
19	37.28	24.11	37.28	24.11	35.83	23.17	33.39	21.72	29.17	19.83	25.83	17.11
20	35.00	23.50	35.00	23.50	33.56	22.56	31.11	21.11	26.89	19.17	23.56	16.33
21	33.00	23.00	33.00	23.00	31.56	22.00	29.11	20.50	24.89	18.50	21.56	15.61
22	31.22	22.56	31.22	22.56	29.78	21.50	27.33	20.00	23.11	17.94	19.78	15.00
23	29.83	22.17	29.83	22.17	28.39	21.11	25.94	19.61	21.72	17.50	18.39	14.50
24	28.78	21.83	28.78	21.83	27.33	20.83	24.89	19.28	20.67	17.17	17.33	14.11

جدول (٢ – ٨): درجات الحرارة الجافة والرطبة لمدينة الرياض
RIYADH COOLING DESIGN TEMPERATURE PROFILE

أحوال التصميم الداخلية **Indoor Design Conditions**:

لنظام تكييف هواء مريح تستعمل نظم التكييف للمباني العامة والتجارية الأحوال التالية :ـ

أ ـ صيفاً

درجة الحرارة الجافة $a: 23.5°C \rightarrow 25.5°C$

- الرطوبة النسبية $b: 40RH \rightarrow 60RH$

ب ـ شتاء

درجة الحرارة الجافة $a: 21.5°C \rightarrow 23.5°C$

الرطوبة النسبية $b: 20RH \rightarrow 30RH$

هذه الأحوال تختلف حسب اختلاف نوع الحيز المكيف (انظر إلى الجداول ٢ ـ ٦ ، ٢ ـ ٧ المرفقة وخريطة مناطق الراحة (Comfort Zones)

حساب أحمال التبريد Cooling Load Calculations

اعتبارات التصميم الابتدائية Initial Design Consideration :

لحساب حمل التبريد ، يلزم معرفة الت إلى :-

أ - خصائص المبنى Building Characteristics

يجب معرفة خصائص مواد البناء للحيز وأبعاده (يستحسن وجود رسم أو مخطط للمبني) وكذلك توضيح الاتجاهات الأربع للمبنى building configuration

ب - معرفة البيانات الجوية للمنطقة ومنها يمكن تحديد بعض المتطلبات الأخرى كأحوال التصميم الخارجية ومعدل الإشعاع الشمسي ..الخ أيضاً يتطلب معرفة أحوال التصميم الداخلية حسب نوع واستعمال الحيز المكيف .

ج - مدة وزمن التواجد للأشخاص وكذلك فترة عمل الإضاءة مثلاً (نظام البرمجة scheduling)

د - معلومات أخرى كاختيار نظام التكييف المناسب وخلافه .

الكسب الحراري للحيز وحمل التبريد للحيز Space Heat Gains & Space Cooling Load

الكسب الحراري للحيز هو معدل انتقال الحرارة للحيز خلال فترة زمنية معينة (time interval) والحمل الحراري للحيز هو معدل سحب الحرارة من خلال الحيز المكيف للحفاظ على أحوال التصميم الداخلية ثابتة .

أحمال التبريد للحيز Space Cooling Load

يمكن تقسيم أحمال التبريد الخارجية إلى :-

أ - الكسب الحراري بسبب انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران والأسقف (Q_w)

الحرارة المكتسبة عبر الحائط أوالجدار هي عبارة عن مجموع الحرارة المتنقلة بصورة منتظمة (steady state) من الخارج إلى الداخل نتيجة لفرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج (air-air temperature)، والحرارة المنتقلة بصورة غير منتظمة (unsteady state) نتيجة للاختلاف في كمية الإشعاع الساقط على الجدار.

ظاهرة الانتقال غير المنتظم للحرارة عبر الجدار تعتبر عملية معقدة نسبة للكتلة الحرارية (thermal mass) للمبنى، حيث يتم تخزين الطاقة الحرارية المارة عبر الجدار ثم تصريفها إلى الداخل أو الخارج في وقت لاحق وهذا يعتمد على قيمتي زمن التخلف(time lag ,Φ) ومعامل النقصان (decrement factor, f) مما يصعب عملية حساب الأحمال .

تعين الحرارة المكتسبة خلال الجدران أو الحوائط المحيطة بالحيز نتيجة فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج فقط (air-to-air temperature) بالمعادلة التالية :

$$Q_w = \Sigma U \times A \times (T_o - T_i)$$

حيث .

درجة حرارة هواء التصميم الجافة الداخلية $T_i = \{°C\}$

درجة حرارة هواء التصميم الجافة الخارجية $T_o = \{°C\}$

المساحة الخارجية للجدران ، السقف ...الخ $A = \{m^2\}$

معمل الحرارة الكلي للجدران ، السقف ....الخ $U = \{W/m^2K\}$

ومعامل الحرارة الكلي للجدران (U) يعتمد على الطبقات التي يتكون منها المبنى كما إن معامل الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية (h_i) والأسطح الخارجية (h_o) يعتمدان على سرعة الهواء كما يظهر في الجدول(٢ ـ ٨) الت إلي :

البيان	اتجاه الحرارة	$h\{W/m^2K\}$
هواء ساكن مع حائط أفقي	إلى أعلى	10
هواء ساكن مع حائط أفقي	إلى أسفل	6
هواء ساكن مع حائط راسي	أفقي (حوائط)	8
هواء متحرك بسرعة 6.7 m/s	كل الاتجاهات	34
هواء متحرك بسرعة 3.4 m/s	كل الاتجاهات	23

جدول (٢ — ٩): معامل انتقال الحرارة بالحمل

يمكن تعيين الحرارة الكلية للجدران (U) من المعادلة التالية

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k}$$

حيث :

سمك الحائط $x = \{m\}$

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل $k = \{W/mK\}$

والجدول (٢ ـ ٩) الت إلي يوضح مقدار معامل الحرارة بالتوصيل k بالوحدات $\{W/mK\}$ لبعض المواد المكونة للحوائط:

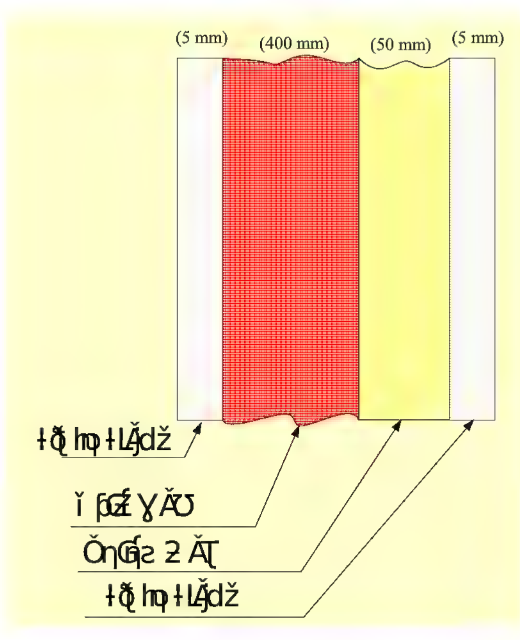
$k = \{W / mK\}$	المادة
0.72	طوب عادي (common brick)
1.30	طوب واجة (Face brick)
1.72	خرسانة (Concrete)
1.10	بلاط (Tiles)
1.80	حجارة (Stone)
0.72	مونة إسمنتية (Cement plaster)
0.80	مونة جبسية (Gypsum plaster)
0.16	خشب ناشف (Hard wood)
0.12	خشب طري (Soft wood)
1.72	رمل (Sand)
0.036	قلين (Cork)
0.036	صوف زجاجي (Glass wool)
0.040	بولسترين (Polystyrene)
0.023	بولي إريان (Polyurethane)

جدول (٢ — ١٠): معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

المواد التي لها معامل توصيل حراري صغير تعرف بالعوازل (insulants) وهي مهمة في تقليل الحمل الحراري بالتوصيل للجدران والأسقف.

مثال١:

للحائط الموضح أدناه، أوجد معامل انتقال الحرارة بالتوصيل U إذا كان معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الخارجية $h_0 = 20\ W/m^2K$ و معامل انتقال الحرارة بالحمل للأسطح الداخلية $h_i = 10\ W/m^2K$.



شكل (٢ – ٢٥):

من الرسم:

$$\sum \frac{x}{k} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4}$$

$x_1 = x_4 = 5\ mm = 0.005\ m$ و $x_2 = 400\ mm = 0.400\ m$

$x_3 = 50mm = 0.050m$

ومن الجداول (للمونة الجبسية) $k_1 = k_4 = 0.80\ W/mK$

ومن الجداول (للطوب العادي) $k_2 = 0.72\ W/mK$

ومن الجداول (للصوف الزجاجي) $k_3 = 0.036\ W/mK$

$$\sum \frac{x}{k} = \frac{0.005}{0.800} + \frac{0.400}{0.72} + \frac{0.050}{0.036} + \frac{0.005}{0.800} = 1.957$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k}$$

$$= \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + 1.957 = 2.107$$

$$\therefore U = \frac{1}{2.107} = 0.475\ W/m^2K$$

درجة حرارة الشمس والهواء Sol-air Temperture

درجة حرارة الشمس والهواء هي درجة حرارة وهمية تعبر عن قيمة درجة حرارة الهواء الخارجي والتي في غياب أشكال التبادل الاشعاعي تعطي نفس معدل انتقال الحرارة خلال السطح الخارجي للجدار كالذي يحدث نتيجة للفرق في درجة الحرارة وتبادل الاشعاع وسنرمز لها بالرمز (T_{wo})

$$T_{w_o} = T_o + (\alpha I)/h_0$$

أو

$$\Delta T_s = T_{w_o} - T_o$$

حيث إن:

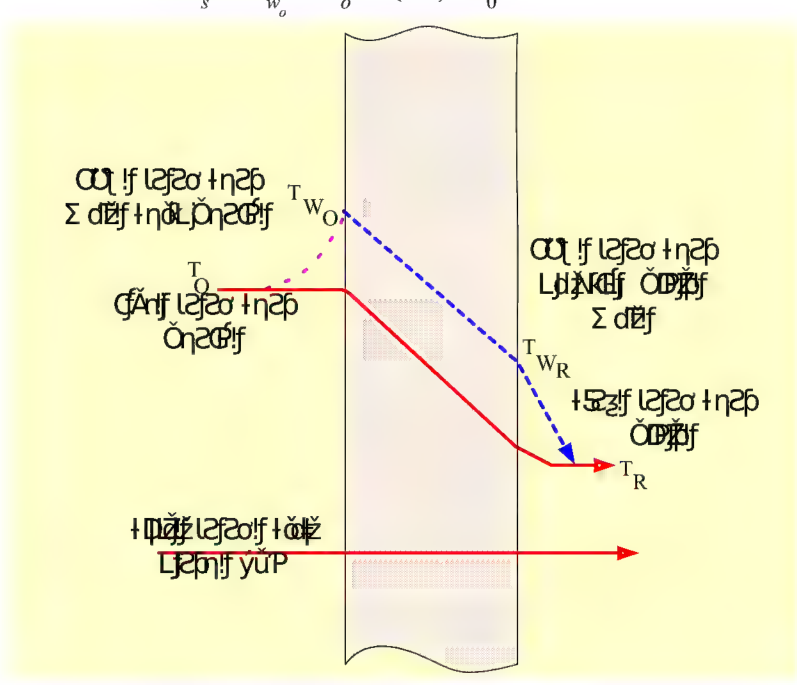
شدة الإشعاع الشمسي $I = (W/m^2)$

معامل انتقال الحرارة للأسطح الخارجية $h_o = [W/m^2K]$

معامل الامتصاص للأسطح الخارجية $\alpha =$

فرق درجات الحرارة الإضافي نتيجة أشعة الشمس $\Delta T_s = \{K\}$

$$\Delta T_s = T_{w_o} - T_o = (\alpha I)/h_0$$



شكل (٢ – ٢٦): الكسب الحراري الشمسي

الرسم أعلاه يوضح تأثير الإشعاع الشمسي على درجات حرارة الأسطح الخارجية حيث نجد إن درجة حرارة السطح الخارجي عند T_{WO} بينما درجة الحرارة المحيطة الخارجية T_O $(T_{W_O} \succ T_O)$.

عليه يمكن حساب الحرارة المكتسبة من الشمس بالتوصيل خلال الجدران والأسقف بالمعادلة التالية

$$Q_{sun} = \Sigma(UA\Delta T_s)$$

حيث :

مساحة سطح الحائط أو السقف $A = \{m^2\}$

معامل انتقال الحرارة الكلي $U = \{W/m^2K\}$

معامل امتصاص الأشعة تختلف قيمته حسب اختلاف المواد والألوان كما في الجدول الت إلى :

مادة السطح	α
طوب أحمر رملي جيري	0.70 – 0.55
طوب أبيض رملي جيري	0.5 –0.4
حجارة جيرية	0.5 –0.3
إردواز رمادي	o.9 –0.8
بلاط خرساني	0.65
سقف إسفلتي	0.9

جدول (٢ – ١١): معامل الامتصاص للسطح

كذلك يمكن تقدير حساب الحرارة المكتسبة من الشمس و الهواء معا والتي تنتقل خلال الحائط المعرض للشمس من المعادلة التالية:

$$Q_w = AU(T_{wo} - T_i)$$

حيث:

شدة الإشعاع الشمسي (I) الساقط على الجدران يعتمد على الموقع والزمن:

الشهر	الشمال N	الشرق E	الجنوب S	الغرب W	الاتجاه الأفقي HOR.
يناير	82.6	610.10	727.3	610.10	645.6
فبراير	92.10	691.3	622.9	680.9	760.1
مارس	104.0	7222.7	424.3	719.7	846.1
إبريل	114.7	708.4	258.5	708.1	881.8
مايو	131.1	685.10	158.3	679.7	884.3
يونيو	166.1	664.2	139.0	655.4	875.1
يوليو	131.1	662.0	100.1	660.4	868.2
أغسطس	119.8	674.3	249.4	682.9	860.9
سبتمبر	107.8	823.7	448.9	698.6	824.4
أكتوبر	95.8	646.3	609.1	663.6	749.3
نوفمبر	83.9	592.7	720.7	587.9	646.3
ديسمبر	77.6	570.9	756.6	756.6	596.5

جدول (٢ – ١٢): شدة الإشعاع الشمسي لمدينة الرياض خلال أ شهر السنة لبعض الاتجاهات (W/m^2)

الاتجاه الافقي HOR.	الغرب W	الجنوب S	الشرق E	الشمال N	الوقت Hour
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0300
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0400
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0500
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0600
111.0	24.3	267.0	489.9	24.3	0700
339.2	55.5	529.0	707.4	55.5	0800
532.8	77.6	688.8	649.4	77.6	0900
672.1	92.7	791.9	479.2	92.7	1000
747.1	103.4	845.2	251.3	100.9	1100
752.5	2150.0	849.0	104.7	101.5	1200
687.6	448.6	802.9	94.6	94.6	1300
557.0	629.6	707.1	80.4	80.4	1400
370.4	709.3	556.7	59.3	59.3	1500
145.3	556.4	317.8	29.6	29.6	1600
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1700
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1800
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1900
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2300

جدول (٢ – ١٣): الإشعاع الكلي لمدينة الرياض خلال شهر يناير (W/m^2)

الاتجاه الأفقي HOR.	الغرب W	الجنوب S	الشرق E	الشمال N	الوقت Hour
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0300
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0400
1.9	1.0	1.0	12.3	5.3	0500
199.6	50.4	50.4	564.0	197.0	0600
431.6	86.1	89.8	761.6	216.3	0700
636.9	112.5	120.4	766.4	181.6	0800
809.2	132.4	149.1	662.7	143.8	0900
928.4	146.0	211.8	489.6	154.8	1000
989.9	159.2	244.9	276.5	160.5	1100
988.9	218.3	244.3	158.9	160.5	1200
926.2	494.3	210.6	145.6	154.8	1300
805.5	666.1	147.2	132.1	143.4	1400
635.2	767.9	119.8	122.2	182.8	1500
426.2	759.4	88.9	85.4	216.6	1600
193.6	555.2	49.2	49.2	194.8	1700
1.0	6.6	0.3	0.0	0.0	1800
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1900
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2000
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2100
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2200
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2300

جدول (٢ – ١٤): الإشعاع الكلي لمدينة الرياض خلال شهر يولية (W/m^2)

بالنسبة لاتجاه الحائط تكون قيمة شدة الإشعاع الشمسي كبيرة على الحوائط الشرقية حو إلى الساعة الثامنة صباحا وعلى الحوائط الجنوبية حو إلى الساعة الحادية عشرة صباحاَ وللأسقف حو إلى الساعة الثانية عشر ظهرا وعلى الحوائط الغربية حو إلى الساعة الثالثة مساء (انظر جدول ٢ ـ ١٣). وبالنسبة للحوائط الشمالية تكون شدة أشعة الشمس بسيطة ويمكن إهمالها. الزيادة في درجة حرارة الحوائط والأسقف يمكن اعتبارها عند حساب الأحمال وذلك باعتبار زيادة معينة في درجة الحرارة الخارجية للحائط أو السقف..

الكسب الإشعاعي بالتوصيل بالنسبة للجدران والحوائط يكون متخلفاً عن وقت التصميم بعدة ساعات ويعتمد ذلك على نوعية مادة المبنى ويجب أخذ ذلك في الاعتبار. غير إن كثيرا من تقديرات

الأحمال السابقة كانت تتجاهل هذا الحمل وتعتمد في تقدير أحمال التوصيل للجدران بأخذ الفرق في درجة حرارة الهواء الخارجي والهواء الداخلي (air-air temperature).

مثال٢:

غرفة أبعادها $6\ m \times 4\ m \times 3\ m$ بها عدد واحد باب خشبي أبعاده $2m \times 1.5m$ وثلاثة شبابيك زجاجية أبعاد كل واحد منها $1.5m \times 1.2m$. بمعرفة الأحوال التالية أ أوجد الحمل الكلي للجدران (Q_w):

- ظروف التصميم الخارجية $40°C(db), 30°C(wb)$
- ظروف التصميم الداخلية $24°C(db), 50\%RH$
- درجة حرارة التربة $27°C(db)$
- درجة حرارة السقف مع اعتبار أشعة الشمس $48°C(db)$

ومعامل التوصيل الحراري الكلي (U) كما يلي:

- معامل التوصيل الحراري الكلي للحوائط الرأسية والسقف $2.4 W/m^2\,K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للأرضية $0.6 W/m^2\,K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للباب الخشبي $2.0 W/m^2\,K$
- معامل التوصيل الحراري الكلي للشبابيك الزجاجية $5.6 W/m^2\,K$

الحل:

يستحسن حل مثل هذا النوع من المسائل على هيئة جدول كالتالي:

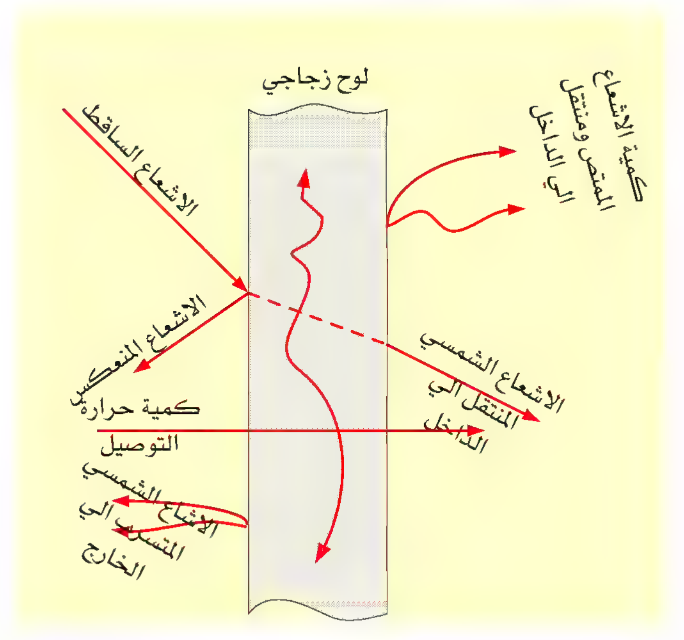
البيان	U $W/m^2\,K$	A m^2	ΔT $°C$	Q_w W
الجدران الرأسية	2.4	51.6	16	1981.4
الباب	2.0	3.0	16	96.0
الشبابيك	5.6	5.4	16	483.8
السقف	2.4	24	24	1382.4
الأرضية	0.6	24	03	43.2
انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران				3986.8

جدول (٢ – ١٥): مثال٢

انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران $Q_w = 3986.8\ W = 3.987\ kW$

ب ـ الكسب الإشعاعي خلال المساحات الزجاجية (Q_{rad})

غالبا ما يحدد الكسب الشمسي خلال الشبابيك الوقت من ناحية اليوم والسنة الذي يخمن عنده الحمل وبالرجوع لجداول الكسب الشمسي خلال الزجاج يلاحظ إن الكسب خلال الشبابيك الشرقية والغربية يصل قمته عند الثامنة صباحا والرابعة مساء على التو إلى في شهر يولية في حين يتحقق ذلك بين الساعة الثانية عشر ظهرا والثانية بعد الظهر للشبابيك الجنوبية في شهري لذا فقد يكون ضروريا إجراء أكثر من تخمين واحد للوقوف على الحمل الأقصى.



شكل (٢ – ٢٧): الكسب الإشعاعي للمساحات الزجاجية

كمية حرارة الإشعاع الزجاجي التي تنتقل إلى الحيز المكيف جزء منها يكون عبارة عن حرارة الإشعاع المباشر، وبعض من الحرارة التي يمتصها الجسم الزجاجي تتسرب إلى الداخل أيضا زيادة على حمل التوصيل الذي ذكرناه سابقا.

كمية الحرارة خلال الجسم الزجاجي = الحرارة بالإشعاع المباشر + جزء من الحرارة الممتصة + حرارة التوصيل.

يمكن التعبير عن كمية الحرارة المنتقلة خلال الأسطح الزجاجية بالمعادلة التالية:

$$Q_{rad} = A \times I \times (SC)$$

حيث:

الكسب نتيجة الإشعاع الشمسي خلال الزجاج $Q_{rad} = [kW]$

شدة الإشعاع الشمسي $I = (W/m^2)$

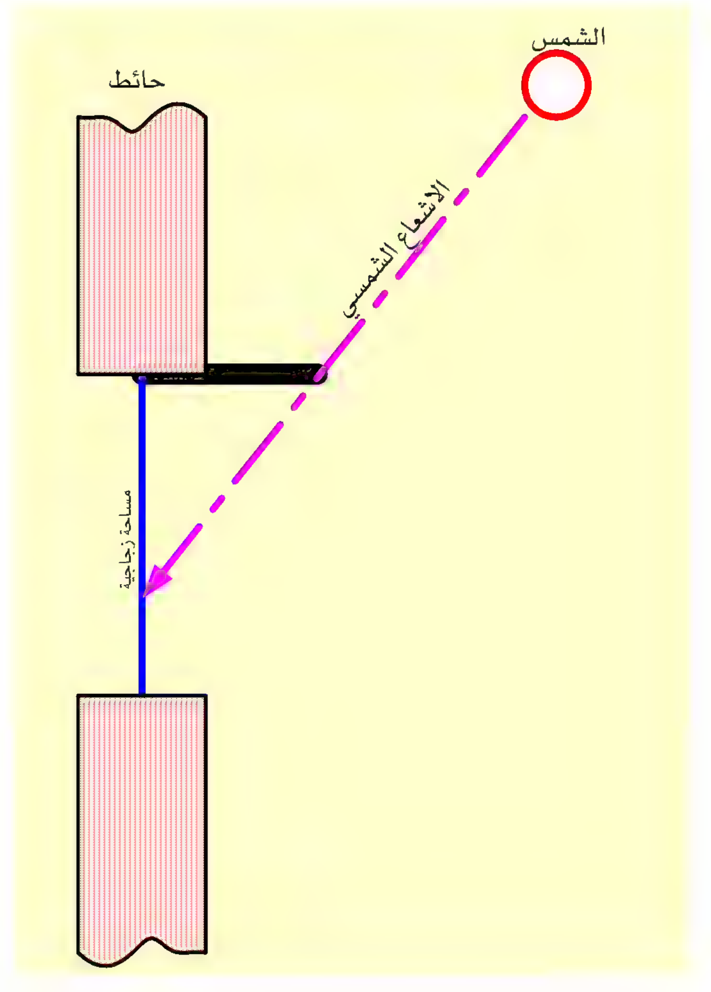
معامل التظليل $SC = [None]$

حيث نجد إن انتقال الحرارة خلال الزجاج يختلف أيضا حسب نوعية التظليل كما إن وجود ستائر على الشبابيك يقلل من كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة للحيز كما يبينه الجدول التالي:

بدون تظليل	مع ستارة داخلية	عدد الألواح
0.83	0.64	واحد : عادي
0.69	0.57	مع سقيفة
0.40	0.33	مع طبقة عاكسة
0.88	0.57	اثنين: عادي
0.40	0.34	مع طبقة عاكسة

جدول (٢ – ١٦): معامل التظليل للزجاج

كمية حرارة الإشعاع خلال المساحات الزجاجية تتأثر أيضا بوجود ظل من الجدران الملاصقة (أو عن طريق عمل ستائر خارجية تحجب الإشعاع الشمسي) على تلك المساحات حيث يحجب عن الزجاج كثيرا من أشعة الشمس مما يقلل من انتقال الحرارة بالإشعاع إلى الحيز المكيف..



شكل (٢ – ٢٨): أثر الظل على المساحات الزجاجية

ج ـ الحمل الحراري للتسرب أو التهوية (Q_v) : ـ

تقريبا جميع المباني تسمح بتسرب الهواء الخارجي إلى الحيز المكيف من خلال الشبابيك و الأبواب وهذا ما يعرف بهواء التسرب (infiltration). كمية هذا الهواء تعتمد على مستوى المبنى (building quality) فكل ما كان المبنى محكما كلما قل هواء التسرب كذلك تعتمد كمية هواء التسرب على سرعة الريح حيث يزيد معدل هواء التهوية مع زيادة سرعة الريح.

قد يشكل تسرب الهواء من الجو المحيط إلى الحيز المكيف كسبا كامنا كبيرا ولدرجة أقل كسبا محسوسا للغرفة.يمكن اختزال تأثير هذا التسرب في معظم التطبيقات التي تراعي فيها المواصفات القياسية للتهوية بهواء مرشح مكيف من جهاز التكييف.ويجب إضافة 20% لمعدل التسرب المحسوب لبلوغ الحد الأدنى اللازم للتهوية. يصعب تحديد مقدار التسرب لمساحة مكيفة معينة وتتوفر عدة

طرق لأغراض التصميم أبسطها تفرض هواء التسرب يعادل تغيير هواء الغرفة بأكمله مرة واحدة إلى مرة ونصف في الساعة: أي: التسرب $\{m^3/s\}$ = (حجم الغرفة ×معدل معدل تغيير الهواء) ÷ 3600

هذه الطريقة شائعة الاستخدام ويمكن التعويل عليها لتأكيد نتائج الطرق الحسابية مثل التي يعزي فيها التسرب إلى شقوق الشبابيك وتأثير فتح وغلق الأبواب. في المباني التي تستخدم فيها شبابيك ثابتة، خاصة مزدوجة التزجيج منها، يضمحل التسرب لحد كبير. ويمكن اعتبار معدل تغيير الهواء 0.25 إلى.0.50

الطريقة الأخرى لحساب معدل هواء التهوية ($\dot{V}$) هو عن طريقة الشقوق (Crack method). ومعدل هواء التسرب في هذه الحالة يعتمد على مساحة الشقوق (A) وفرق الضغط بين الداخل والخارج (Δp) أي

$$\dot{V} = AC\Delta p^n$$

حيث:

المساحة الفعالة للشقوق =A

معامل يعتمد على نوعية فتحة الشق ونوعية السريان =C

فرق الضغط بين الداخل والخارج $\Delta p =$

أس يعتمد على نوعية سريان الهواء في الشقوق $0.4 \prec n \succ 1.0$ =n

لمثل هذه الحالات تم عمل جداول لتبين معدل سريان هواء التسرب.فالجدول (٢ ـ ١٦) يبين التسرب خلال الشبابيك لكل متر من أطوال الشقوق والجدول (٢ -١٧) يبين التسرب خلال الأبواب لأنماط الاستعمال الشائعة

نوع الشباك	$L/s/m$
إطار خشبي (حالته جيدة)	0.36
إطار خشبي (حالته رديئة)	1.00
إطار معدني	0.72
معدني. متمركز رأسيا	1.70
معدني. متمركز عموديا	1.44
معدني – بوابي	0.50

جدول (٢ – ١٧): التسرب خلال الشبابيك

ملحوظة : حسبت القيم أعلاه لسرعة ريح مقدارها 3.35 m/s في الصيف.

جدول التسرب من خلال الأبواب:

معدل التسرب (L/s)			
نوع الباب	مغلق	استخدام عادي	مفتوح
أبواب دوارة	13	85	565
باب زجاجي $(2.73m \times 0.92m)$	45	165	330
باب خشبي $(2.00m \times 0.76m)$	5	35	236
باب خشبي $(2.13m \times 0.92m)$	9	64	330
باب خشبي $(2.13m \times 1.84m)$	38	85	660

جدول (٢ – ١٨): التسرب خلال الأبواب

ملحوظة : حسبت القيم أعلاه لسرعة ريح مقدارها 3.35 m/s في الصيف

المباني الكبيرة التي تستعمل غالبا التكييف المركزي ، تستعمل كمية هواء التهوية اللازمة بدلا من هواء التسرب

ينقسم هواء التهوية أو التسرب إلى قسمين:

١ ـ حمل حراري محسوس Q_{vs}

$$Q_{vs} = \frac{\dot{V}}{v_o} c_{pair} (T_i - T_o)$$

حيث :

معدل سريان الهواء الحجمي $\dot{V} = [m^3 / s]$

الحجم النوعي للهواء الخارجي $v_o = [m^3 / kg]$

الحرارة النوعية للهواء $c_{p_{air}} = [1.006\ kJ / kgK]$

ii

٢ - حمل كامن (Q_{v_l})

$$Q_{v_l} = \frac{V}{v_o} (\omega_i - \omega_o) \times h_{fg}$$

حيث : الرطوبة النوعية للهواء الخارجي $\omega_o = [kg_{water} / kg_{air}]$

الرطوبة النوعية للهواء الداخلي $\omega_i = [kg_{water} / kg_{air}]$

الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة الهواء الداخلي $h_{fg} = [2254\ kJ/kg]$

إذن فالحمل الكلي للتسرب أو التهوية (Q_v) هو مجموع الحمل المحسوس زائداً الحمل الكامن .

$$Q_v = Q_{v_s} + Q_{v_l} = \frac{V}{v_o}\Delta h$$

حيث : فرق الإنثالبي بين الهواء الداخلي والخارجي $\Delta h = [kJ/kg]$

كثير من المصممين يستعملون نظام معدل تغيير الهواء للغرفة /الساعة (N) حيث يحسب الحمل الكلي للتسرب أو التهوية (Q_v) بالمعادلة التالية

$$Q_v = \frac{N \times V \times \Delta h}{3600 \times v_o}$$

حيث:

حجم الحيز أو الغرفة $V = [m^3]$

طرق حساب كمية هواء التهوية

ومن الطرق الشائعة لحساب كمية الهواء اللازم لتهوية حيز معين الطرق التالية:

- على أساس معدل تغيير هواء لغرفة في الساعة (ACH)
- على أساس عدد الأشخاص

١ - على أساس معدل تغيير هواء لغرفة في الساعة (ACH)

كمية الهواء المطلوبة = عدد مرات تغير الهواء الكلي × حجم المكان

وتختلف عدد مرات تغير الهواء للمكان تبعا لاختلاف نوع واستعمال المبنى كما يبين الجدول (٢ - ١٨) الت إلى بعضا من معدلات تغير الهواء في الساعة (ACH):

الاستخدام	معدل تغير الهواء (ACH)
مسارح – سينما	6-10
مكتبات	3-4
مكاتب	4-6
معامل	4-6
غرفة طعام	5-10
صيدليات	6
مطابخ	6
مطابخ – فنادق – مناطق صناعية	20

جدول (٢ – ١٩): معدلات تغير الهواء (ACH)

٢ ـ على أساس عدد الأشخاص

كمية الهواء المطلوب للتهوية = كمية الهواء اللازمة للشخص الواحد × عدد الأشخاص

الكمية اللازمة لكل شخص تستخرج من الجداول مثال ذلك الجدول (١٩.٢)التالي:

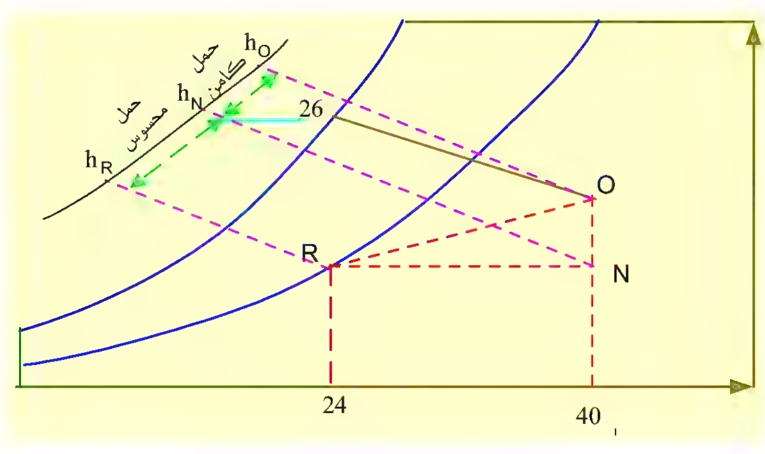
الاستخدام	التدخين	معدلات التهوية لكل شخص (L/s)	
		الأدنى	المفضل
شقة	أحيانا	7	9.5
مصرف	أحيانا	5	7.5
صالون	أحيانا	5	7.0
محلات تجارية	ممنوع	2.5	3.5
مصانع	ممنوع	3.5	5.0
مستشفيات	ممنوع	12	14
فنادق	شديد	12.0	14.0
غرف اجتماعات	شديد	14.0	24.0
مكاتب عامة	أحيانا	7.5	12.5
مطاعم	أحيانا	7.5	10.0
كفتيريا	أحيانا	3.5	6.0
مسارح	ممنوع	2.5	5.0

جدول (٢ — ٢٠): معدل التهوية

مثال٣ :

مكتب أبعاده الداخلية $8\ m\times6\ m\times3m$ مكيف عند $24°C(db),50\%RH$ أوجد الحمل المحسوس، الحمل الكامن والحمل الكلي للتهوية باعتبار معدل تغيير هواء الغرفة في الساعة، ACH=5 والأحوال الخارجية عند $40°C(db),26°C(wb)$

من الخريطة السيكرومترية:



شكل (٢ — ٢٩): مثال

$$h_R = 48.5\ kJ/kg \qquad h_O = 75.0 kJ/kg \qquad h_N = 65.0 kJ/g$$

$$v_0 = 0.908\ m^3/kg$$

∴معدل السريان الحجمي لهواء التهوية

$$\dot{V} = \frac{V \times ACH}{3600}$$

$$\dot{V} = \frac{(8 \times 6 \times 3) \times 5}{3600}$$

$$\dot{V} = 0.2\ m^3/s$$

معدل سريان هواء التهوية

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_0} = \frac{0.2}{0.908} = 0.22\ kg/s$$

حمل التهوية المحسوس

$$Q_{v_s} = \dot{m}(h_N - h_R)$$

$$Q_{v_s} = 0.22\,(65 - 48.5) = 3.63\ kW$$

حمل التهوية الكامن

$$Q_{vl} = \dot{m}(h_0 - h_N)$$

$$Q_{v_l} = 0.22\,(75 - 65) = 2.2\ kW$$

حمل التهوية

$$Q_v = Q_{v_S} + Q_{vl}$$

$$Q_v = 3.63 + 2.2 = 5.83\ kW$$

أو

حمل التهوية

$$Q_v = \dot{m}(h_o - h_R)$$

$$Q_v = 0.22\,(75.0 - 48.5) = 5.83\ kW$$

د ـ أحمال الإضاءة (Q_L)

تحسب أحمال الإضاءة من المعادلة التالية

$$Q_L = N \times P \times F \times (DF)$$

حيث إن:

عدد اللمبات $N =$

قدرة اللمبة الواحدة $P = [W]$

المعامل (حسب نوع اللمبة) $F =$

=1.25 -1.30 for florescent lamps
= 1.0 for bulb lamps

معامل التباين $DF =$

يلاحظ إن قدرة اللمبات الفلورسنت زيدت بمقدار %30 -25 لتأخذ في الاعتبار القدرة اللازمة للمحول الذي يعمل مع اللمبات الفلورسنت . في الحسابات التقريبية نجد أننا ،نأخذ معامل التباين(يساوي واحد).

قد نحتاج في بعض الأحيان تحديد عدد اللمبات اللازمة لإضاءة حيز معين وفي هذه الحالة نستعمل الجداول التي توضح شدة الإضاءة اللازمة لكل استخدام مقال ذلك الجدول الت إلى :

نوع الاستخدام	شدة الإضاءة (W/m^2)
مكاتب	60
مصانع	45
مدارس – جامعات	40
سكن – مسرح – فندق	20
مطعم	17
مستشفيات – متاحف	15

جدول (٢ – ٢١): شدة الإضاءة

مثال ٤ :

احسب الحمل الحراري الناتج عن الإضاءة إذ يوجد 50 لمبة كهربية عادية قدرة كل منها 100 W و 20 لمبة فلورسنت قدرة كل منها 40 W.

الحل:

$$Q_{light} = (N_1 P_1)_{bulb} + (1.25 N_2 P_2)_{flourescent}$$

$$= 50 \times 100 + 1.25 \times 20 \times 40$$
$$= 5000 + 1000 = 6000\ W = 6\ kW$$

مثال٥ :

حجرة دراسية مساحتها $50\ m^2$ يراد إضاءتها. أوجد عدد اللمبات التي يجب إن تركب في هذه الغرفة عند :

- عند اختيارنا لمبات عادية قدرة كل لمبة 100 W.
- عند اختيارنا لمبات فلورسنت قدرة كل لمبة 40 W.

و كذلك الحمل الحراري للإضاءة لهذه الحجرة.

الحل:

من الجدول السابق، نجد إن شدة الإضاءة للحجرة الدراسية تكون على الأقل $40\ W/m^2$
عليه يكون قدرة الإضاءة اللازمة للحجرة الدراسية (I)

$$I = 50 \times 40 = 2000\ W$$

عند اختيارنا للمبات العادية وباعتبار 100 W لكل لمبة، فإن عدد اللمبات العادية(N_1) يكون :

$$N_1 = \frac{2000}{100} = 20$$

ويكون عندئذ حمل الإضاءة هو $2000W$

إذا اخترنا لمبات فلورسنت قدرة كل لمبة 40 W ، عليه تكون عدد اللمبات الفلورسنت (N_2)

$$N_2 = \frac{2000}{40} = 50$$

في هذه الحالة يكون الحمل الحراري

$$Q_{light} = (1.25 N_2 P_2)_{flourescent}$$
$$= 1.25 \times 50 \times 40 = 2500\ W$$

هـ ـ الحرارة المكتسبة من الأشخاص **Heat of Occupants**

يعطي شاغلو الأماكن المكيفة حرارة تتوقف على طبيعة حالة كل شخص . يعطي الإنسان حرارة محسوسة نتيجة اختلاف درجة حرارة جسمه $(37^0 C)$ عن درجة الراحة داخل المكان المكيف كما يعطي حرارة كامنة نتيجة تبخر بخار الماء داخل الرئة وتبخر العرق من سطح جسمه المعرض للهواء .

و تتسرب الحرارة التي يولدها الإنسان بإحدى ثلاث طرق :

بالإشعاع كحرارة محسوسة ، بالحمل كحرارة محسوسة وتتبخر الرطوبة التي يفرزها جسم الإنسان بشكل حرارة كامنة. وكلما زادت درجة حرارة البصيلة الجافة في الفضاء المكيف كلما زاد اعتماد الجسم على التبخير لتأمين تبريده وبذلك يزداد الحمل الحراري الكامن ويلعب مستوى الفعالية والحركة للإنسان دورا هاما في تقسيم الحمل الحراري من الأشخاص إلى كامن ومحسوسة كذلك في المعدل الأيض metabolic rate الكلي.الجدول الت إلى يوضح متوسط الكسب الحراري المتوقع من الأشخاص لمختلف التطبيقات عند أحوال منطقة الراحة .

حالة الإنسان	الاستخدام	حرارة محسوسة	حرارة كامنة	المجموع
جالس ومستريح	مسرح	66	31	97
جالس ويعمل عمل خفيف	مكتب - شقة - فندق	72	45	117
يزاول عمل متوسط	مكتب - شقة - فندق	73	59	132
واقف ويزاول عمل خفيف	محلات تجارية	73	59	132
يمشي ببطء	مصرف	73	73	146
جالس	مطعم	81	81	162
يزاول شغل بسيط	مصنع	81	139	220
عامل متحرك	مصنع	81	139	220
عامل يزاول شغل متوسط	مصنع	88	204	292
عامل يزاول شغل ثقيل	مصنع	170	255	425
شخص يزاول رياضة	مصنع	170	255	425

جدول (٢ — ٢٢): الكسب الحراري للأشخاص (w)

تعين الحرارة المحسوسة التي يعطيها شاغلي المكان بالمعادلة التالية:

$$Q_{p_s} = n \times q_{p_s} \times (D.F.)$$

وتعين الحرارة الكامنة التي يعطيها شاغلي المكان بالمعادلة التالية

$$Q_{p_L} = n \times q_{p_L} \times (D.F.)$$

حيث إن:

- عدد الأشخاص داخل المكان المكيف n =
- معامل التباين (Diversity Factor) والذي يأخذ في الاعتبار عدم تواجد كل الأشخاص في نفس خطة حمل الذروة ويعين من الجداول DF.= .

- معدل الحرارة المحسوسة التي يعطيها كل شخص $q_{p_s} =$
- معدل الحرارة الكامنة التي يعطيها كل شخص $q_{p_L} =$

مثال ٦

احسب الحمل الحراري الكامن، المحسوس والكلي الناتج عن الأشخاص إذا كان عدد الأشخاص 100 يزاولون عملا بسيطا. ومتواجدين جميعا (DF=1)

الحل:

من الجدول السابق نجد إن الحارة الناتجة لكل شخص هي:

$q_s = 81\ W$ و $q_l = 139\ W$ و $q = 229\ W$

الحرارة المحسوسة لكل الأشخاص $Q_{p_s} = 100 \times 81 = 8100\ W$

الحرارة الكامنة لكل الأشخاص $Q_{pl} = 100 \times 139 = 13900\ W$

الحرارة الكلية لكل الأشخاص $Q_p = 100 \times 220 = 22000\ W = 22.0\ kW$

أو الحرارة الكلية لكل الأشخاص $Q_p = Q_{p_s} + Q_{p_l}$

$$Q_p = 8100 + 13900 = 22000\ W = 22.0\ kW$$

الاستخدام	معامل التباين	
	الأشخاص	الإضاءة
مكاتب	0.90 – 0.70	0.85 – 0.70
شقق - فنادق	0.60 - 0.40	0.50 – 0.30
محلات تجارية	0.80–0.90	1.00 – 0.90
مصانع	0.85–o.95	0.90 – 0.80

جدول (٢ — ٢٣): معامل التباين

و - حرارة المعدات Heat of Equipment

قد توجد داخل الأماكن المكيفة أجهزة ومعدات بعضها تعطي حرارة محسوسة فقط كالتليفزيونات وآلات التصوير..الخ وبعضها تعطي إضافة إلى الحرارة المحسوسة حرارة كامنة. تحدد حرارة كل جهاز أو معدة من الجداول أو الكتلوجات.

في حالة الموتورات يعين الحمل الحراري لها (Q_E) من العادلة التالية :

$$Q_E = \sum (1-\eta) E$$

حيث إن:

القدرة اللازمة للمعدة E =

كفاءة الموتور η =

مثال٧

احسب الحمل الحراري الناتج عن استعمال عدد2 موتور كهربائي قدرة كل منها 0.5 kW وكفاءتها 70%.

الحل :

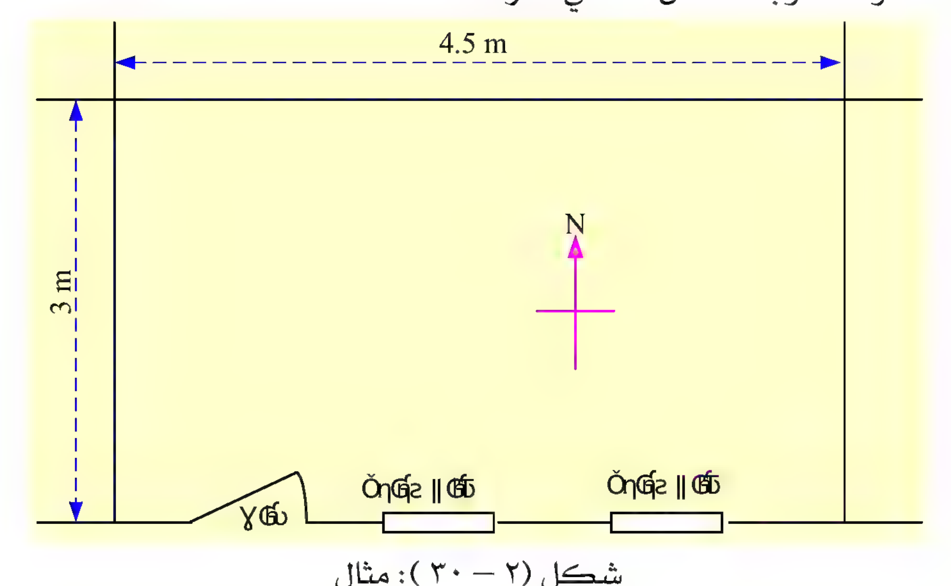
$$Q_E = \sum (1-\eta) E$$
$$= 2 \times (1-0.7) \times 0.5 = 0.30 \ kW$$

ز - مصادر حرارية أخرى (Q_m)

خلافاً لما ذكر، قد توجد مصادر حرارية أخرى قد تزيد أو تنقص كلاً من الحمل المحسوس و/أو الكامن، وعليه يجب أخذها في الاعتبار.

مثال ٨ :

الغرفة الموضحة أدناه أبعادها $4.5m \times 3.0m \times 3.0m$ ومكيفة عند $26°C(db),50\%RH$ وشروط التصميم الخارجية $43°C(db),26°C(wb)$ ، معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج ، الحوائط الأرضية و السقف والأبواب $6.42\ W/m^2K$ ، $1.35\ W/m^2K$ ، $1.6\ W/m^2K$ ، $1.6\ W/m^2K$ و $1.6\ W/m^2K$ على التو إلى . درجة حرارة الأماكن المجاورة للغرفة (بما فيها الأرضية والسقف) تقل بـ $8°C$ عن درجة حرارة الوسط الخارجي . مساحة الزجاج للحائط الجنوبي 4 m^2 ومساحة الباب الخشبي 3 m^2. فرق درجات الحرارة الإضافي للشمس $12°C$. وحرارة الشمس المكتسبة للزجاج $355\ W/m^2$. الهواء النقي لكل شخص 10 L/s .الغرفة تحتوي على أربع لمبات فلورسنت قدرة 60 W وبالغرفة عدد 3 أشخاص يعطي كل واحد منهم 72 W حرارة كامنة و45 W حرارة محسوسة . أوجد الحمل الكلي للغرفة.



شكل (٢ — ٣٠): مثال

الحل :

حمل انتقال الحرارة للجدران (جدول٢ ـ ٣٢) $Q_w = 1438.86W = 1.439kW$

الحرارة المكتسبة للجدران = حرارة الإشعاع للزجاج + تأثير الشمس للجدران (الجنوبي)

حرارة الاشعاع للزجاج $Q_{rad} = A \times I \times (SC)$

ومن الجداول $SC = 0.83$

$$Q_{rad} = A \times I \times (SC)$$

$$= 4 \times 355 \times 0.83 = 1178.6\ W$$

الكسب الحراري للجدران نتيجة أشعة الشمس $Q_{sun} = \Sigma(UA\Delta T_s)$

∴ كمية الحرارة المكتسبة للجدران الجنوبية $Q_{sun} = (UA\Delta T_s)$

$$=1.35\times 6.5\times 12=105.3\ W$$

الحرارة الكلية نتيجة أشعة الشمس

$$Q_{sol}=1178.6+105.3=1283.9\ W=1.284\ kW$$

حمل الإضاءة

$$Q_L=N\times P\times F$$

$$=4\times 60\times 1.25=300W=0.300kW$$

حمل الأشخاص المحسوس

$$Q_{p_s}=n\times q_{p_s}\times(D.F.)$$

$$=3\times 72\times 1=216\ W$$

حمل الأشخاص الكامن

$$Q_{p_L}=n\times q_{p_L}\times(D.F.)$$

$$=3\times 45\times 1=135\ W$$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص

$$Q_p=Q_{ps}+Q_{pl}$$

$$=216+135=351W=0.351kW$$

حمل التهوية:

من الخريطة السيكرومترية :

للأحوال الخارجية $v_o=0.916\ m^3/kg$ $h_0=81\ kJ/kg$

للأحوال الداخلية $h_i=58\ kJ/kg$

المعدل الحجمي لهواء التهوية

$$\dot{V}=3\times 10=30\ L/s=0.030\ m^3/s$$

معدل سريان هواء التهوية

$$\dot{m}=\frac{\dot{V}}{v_o}=\frac{0.030}{0.916}=0.033\ kg/s$$

حمل التهوية

$$Q_v=\dot{m}(h_o-h_i)$$

$$=0.033(81-58)=0.759\ kW$$

حمل الغرفة الكلي (Q_R)

$$Q_R=Q_w+Q_{sol}+Q_l+Q_p+Q_v$$

$$=1.439+1.284+0.300+0.351+0.759=4.133\ kW$$

الحرارة المنتقلة خلال الجدران $Q_w = \sum UA(T_o - T_i)$

	$U\{W/m^2K\}$	$A(m^2)$	$(T_o - T_i)$	$Q_w\{W\}$
الجدران الشرقية	1.35	9.0	9	109.35
الجدران الغربية	1.35	9.0	9	109.35
الجدران الجنوبية	1.35	6.5	17	149.175
الجدران الشمالية	1.35	13.5	9	164.025
الشبابيك الزجاجية	6.42	4.0	17	436.56
الأبواب الخشبية	1.6	3.0	17	81.6
الأرضية	1.6	13.50	9	194.4
السقف	1.6	13.50	9	194.4
				1438.86

جدول (٢ – ٢٤): مثال

حساب أحمال التسخين **Heating Load Calculation**

تنقسم الحرارة المفقودة من الحيز المكيف إلى مجموعتين :-

أ - انتقال الحرارة خلال العناصر المحيطة والمكونة للحيز المكيف كالجدران ، الأرضية ، السقف، الزجاج ..الخ

ب - الحمل الحراري نتيجة تسرب الهواء من خلال الشقوق و الفتحات أو الحمل الحراري اللازم لتدفئة هواء التنفس الخارجي .

يجب الأخذ في الاعتبار سرعة الرياح التي تؤثر على حمل التسرب وكذلك تزيد من المقاومة الخارجية للأسطح المؤثرة في حمل التوصيل الحراري (h_o) .

غالباً ما يكون وقت حساب حمل التسخين في ساعات الليل أي أنه غالباً ما يهمل حمل التوصيل بالإشعاع كما أنه يمكن إهمال بعض الأحمال(مثل الإضاءة والأشخاص) التي لا تؤثر كثيرا على حمل التسخين عندئذٍ إلا في المسارح والمعارض أو الأماكن التجارية.

يمكن الأخذ في الاعتبار الآتي عند حساب حمل الانتقال بالنسبة للأرضية:-

- إن فرق درجات الحرارة بين سطح الأرضية والأحوال الخارجية يكون غالباً في حدود 15^oC

-يلاحظ إنه في حالة أحوال الشتاء المعتدلة، يمكن إهمال معدل انتقال الحرارة خلال الأرضية (adiabatic conditions)

عند الأخذ في الاعتبار أحمال الأشخاص والإضاءة والمعدات فإنها تقلل من حمل التسخين للحيز المكيف أي أنها عامل مساعد لأحمال التسخين

تستعمل نفس القوانين السابقة لإيجاد أحمال التسخين.

تحليل الأحمال الحرارية:

لإيجاد معامل الحرارة المحسوس (SHF)، لابد من تحليل الأحمال الحرارية إلى أحمال محسوسة وأحمال كامنة

$$SHF = \frac{Q_s}{Q_T} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l}$$

حيث:

الحمل المحسوس للحيز $Q_s = \{W\}$

الحمل الكامن للحيز المكيف $Q_l = \{W\}$

الحمل الكلي $Q_T = \{W\}$

وعليه يمكن تصنيف الأحمال الحرارية كالآتي:

- أحمال الجدران: أحمال محسوسة
- أحمال الكسب الحراري نتيجة الإشعاع الشمسي: أحمال محسوسة
- أحمال الإضاءة: أحمال محسوسة
- أحمال التهوية: محسوسة وكامنة
- أحمال التهوية: أحمال محسوسة وكامنة
- أحمال الأجهزة والمعدات: تعتمد على نوعية المعدة أو الجهاز

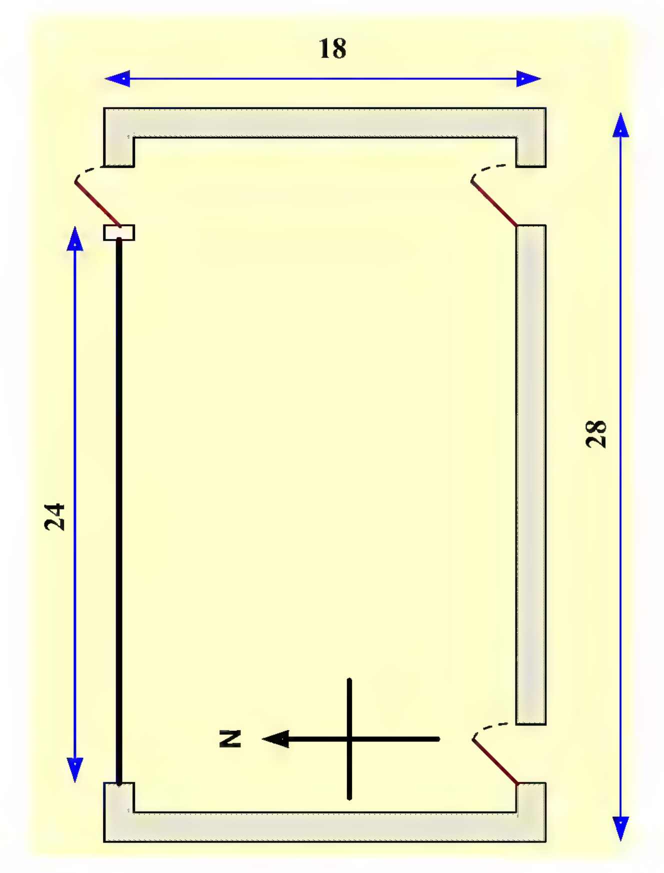
مثال ٩:

الرسم الت إلى يبين مبنى مكيف عند $24°C(db),50\%RH$. للمبنى جدار زجاجي من الناحية الجنوبية بطول 24m وارتفاع 4.25m و3 أبواب خشبية أبعاد كل باب $2m \times 2.5m$.معامل انتقال الحرارة الكلي لمكونات المبنى كالتالي:-

- الحوائط $U = 0.7\ W/m^2K$
- السقف $U = 0.5\ W/m^2K$
- الشبابيك الزجاجية $U = 3.2\ W/m^2K$
- الأبواب $U = 1.6\ W/m^2K$

- عدد الأشخاص بالمبني 100
- كمية حرارة الأيض لكل شخص 72 W حرارة محسوسة و 45 W حرارة كامنة
- معدل التهوية للمبني لكل شخص 5 L/s
- الإضاءة $10\ W/m^2$

باعتبار الأحوال الخارجية التالية $10°C\ (db),6°C\ (db)$ ، أوجد الحمل المحسوس ، الكامن والكلي ومن ثم أوجد معامل الحرارة المحسوس للغرفة .



شكل (٢ – ٣١): مثال

الحل:

بما إن درجات الأحوال الخارجية تقل عن درجات الحرارة للأحوال الداخلية فالأحوال هي شتاء وعليه يمكن إهمال الحرارة المكتسبة بالإشعاع وكذلك انتقال الحرارة عن طريق الأرضية وعليه تكون الأحمال الحرارية هي:

انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران $Q_w = \Sigma UA(T_o - T_i)$

حمل انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران (Q_w) (انظر جدول ٢ ـ ٢٤)

$$Q_w = -10713.5\ W = -10.714\ kW$$

حمل الإضاءة $Q_L = 10 \times 28 \times 18$

$$= 5040W = 5.040kW$$

حمل الأشخاص المحسوس $Q_{p_s} = n \times q_{p_s} \times (D.F.)$

$$= 100 \times 72 \times 1 = 7200W = 7.200\ kW$$

حمل الأشخاص الكامن $Q_{p_L} = n \times q_{p_L} \times (D.F.)$

$$= 100 \times 45 \times 1 = 4500\ W = 4.500\ kW$$

الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص

$$Q_p = Q_{ps} + Q_{pl}$$

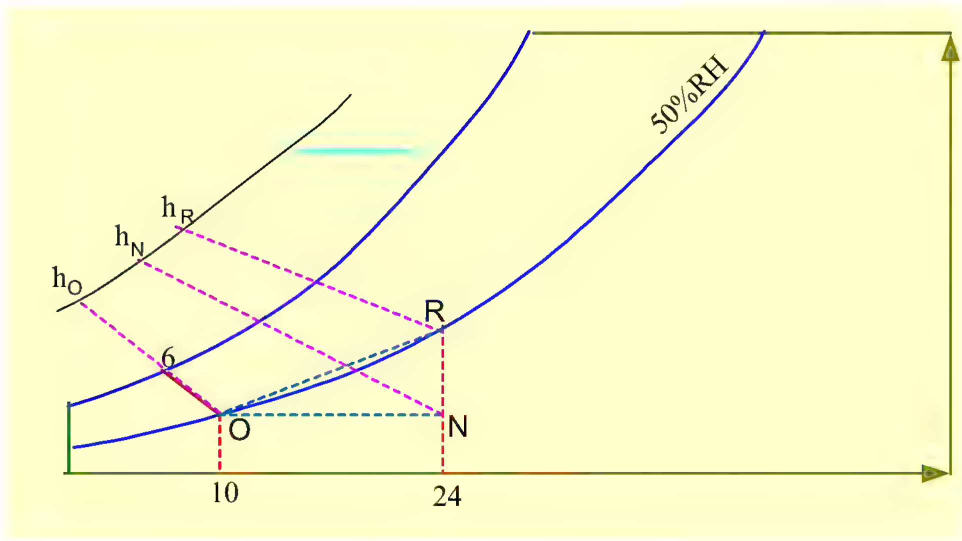
$$= 7200 + 4500 = 11700\ W = 11.700\ kW$$

	$U\{W/m^2K\}$	$A(m^2)$	$(T_o - T_i)$	$Q_w\{W\}$
الجدران الشرقية	0.7	76.5	-14	-749.7
الجدران الغربية	0.7	76.5	-14	-749.7
الجدران الجنوبية	0.7	8.5	-14	-957.95
الجدران الشمالية	0.7	102	-14	-83.3
الشبابيك الزجاجية(الشمالية)	3.2	102	-14	-4569.6
الأبواب الخشبية	1.6	15	-14	-33.6
السقف	0.5	504	-14	-3528
انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران				**-10713.5**

جدول (٢ — ٢٥): مثال ٩

حمل التهوية:

من الخريطة السيكرومترية:



شكل (٢ — ٣٢): مثال٩

للأحوال الخارجية $v_o = 0.807\ m^3/kg$ $h_R = 48.5\ kJ/kg$

للأحوال الداخلية $h_N = 34.5\ kJ/kg$ $h_O = 20.5\ kJ/kg$

المعدل الحجمي لهواء التهوية $\dot{V} = 5 \times 100 = 0500 L/s = 0.500 m^3/s$

معدل سريان هواء التهوية $\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_o} = \frac{0.500}{0.807} = 0.62 kg/s$

حمل التهوية المحسوس $Q_{vs} = \dot{m}(h_O - h_N)$

$= 0.62(20.5 - 34.5) = -8.680 kW$

حمل التهوية الكامن $Q_{vl} = \dot{m}(h_N - h_R)$

$= 0.62(34.5 - 48.5) = -8.680\ kW$

$Q_v = \dot{m}(h_O - h_R)$

$= 0.62(20.5 - 48.5) = -17.36\ kW$

أو $Q_v = Q_{v_S} + Q_{vl}$

$= -8.680 + -8.680 = -17.36\ kW$

حمل الغرفة الكلي (Q_{RT})

	حمل محسوس(kW) Q_{R_S}	حمل كامن (kW) Q_{Rl}
حمل انتقال الحرارة بالتوصيل للجدران (Q_w)	-10.714	
حمل الإضاءة (Q_L)	5.040	
الحرارة الكلية المكتسبة من الأشخاص (Q_p)	7.200	4.500
حمل التهوية (Q_v)	-8.680	-8.680
حمل الغرفة الكلي (Q_{RT})	-7.154	-4.180

جدول (٢ — ٢٦): مثال ٩

حمل الغرفة الكلي $Q_{RT} = Q_{R_S} + Q_{Rl}$

$= -7.154\ -4.180 = -11.334\ kW$

معامل الحرارة المحسوس للغرفة $SHF = \frac{Q_{RS}}{Q_{R_T}} = \frac{-7.154}{-11.334} = 0.63$

الخلاصة

-العوامل التي تؤثر على راحة الإنسان هي : درجة الحرارة، الرطوبة ، حرارة الإشعاع : سرعة الهواء ، حركة الشخص ونقاوة الهواء.

- خريطة منطقة الراحة : تعطي العلاقات المختلفة بين درجات الحرارة والرطوبة والتي يشعر فيها للشخص البالغ بالراحة وهو في حالة مستريح أو يزاول نشاطا خفيفا ويلبس لبسا عاديا عند هواء منخفض السرعة

- الأحمال الحرارية تنقسم إلى أحمال محسوسة وأحمال كامنة.

- الأحمال الحرارية للحيز المكيف تكون نتيجة:

أ ـ انتقال الحرارة بالتوصيل خلال الجدران

ب ـ الكسب الحراري بالإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس

ج ـ أحمال التهوية و/أو التسرب

د ـ الحرارة المكتسبة نتيجة وجود الأشخاص

هـ ـ الحرارة المكتسبة من الإضاءة

و ـ الحرارة المكتسبة من الأجهزة والمعدات

ـ تستعمل نفس المعادلات لأحمال التبريد والتسخين. وعند حساب أحمال التسخين يمكن إهمال الحرارة المكتسبة نتيجة الإشعاع والتوصيل نتيجة أشعة الشمس نسبة لأن أحمال التسخين تؤخذ عادة بالليل. كما إنه يمكن إهمال أحمال الأشخاص والإضاءة إلا في المحلات التجارية والمسارح.

- يمكن تقليل الأحمال الحرارية للمبنى عن طريق :

أ ـ استعمال مواد بناء لها معامل توصيل حراري منخفض كالعوازل مثلا

ب ـ تجنب الألوان الغامقة في المباني

ج ـ تقليل نسبة المساحات الزجاجية في المبنى .

د ـ للمساحات الزجاجية يمكن عمل ستائر خارجية و استعمال زجاج ذو طبقتين double-glazing مع مراعاة التظليل للزجاج.

هـ ـ أحكام المبنى للتقليل من هواء التسرب

و ـ استعمال الإضاءة المناسبة واللمبات ذات الكفاءة الحرارية العالية.

تمارين

١ - اذكر خمسة من العوامل التي تؤثر على راحة الإنسان ؟

٢ – ما المقصود بعوامل التصميم الداخلية والخارجية ؟ وكيف تختارها؟

٣ – حائط أبعاده $4m \times 3m$ وله معامل حراري كلي $U = 0.57W/m^2K$ بها باب إبعاده $1m \times 2m$ وله معامل حراري $U = 1.6W/m^2K$ وأيضا به نافذة زجاجية أبعادها $1.5m \times 0.75m$. معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج $U = 3.2W/m^2K$. أوجد معدل انتقال الحرارة خلال هذا الحائط ومكوناته إذا كان فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج يساوي $\Delta T = 16K$.

٤ – مكتب أبعاده $8m \times 6m \times 3m$ ومعدل تغير هواء التهوية للمكتب ACH=2. أوجد معدل التهوية الحجمي للمكتب.

٥ - مكتب أبعاد مساحته $8m \times 6m$ ، يراد إضاءته بمعدل $60\ W/m^2$. أوجد عدد اللمبات قدرة 40 W التي يجب تركيبها للمكتب وأيضا حمل الإضاءة في حالة استعمال:

أ ـ لمبات فلورسنت ب ـ لمبات عادية

٦ـ الرسم أدناه يبين غرفة طولها 10 m و عرضها 8 m وارتفاعها 3 m و بها عدد واحد باب مساحته 3 m^2 وأربع شبابيك زجاج مساحة كل واحد منها 1.5 m^2 . ودرجة حرارة الغرفة 24 ^oC كما موضح وأيضا درجة حرارة الغرفة المجاورة لها 24 ^oC . إذا علمت درجات الحرارة التالية:ـ

ـ درجة الحرارة الجافة الخارجية 40 ^oC

ـ درجة حرارة التربة 27 ^oC

ـ فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الجنوبية 7 ^oC

ـ فرق درجات الحرارة نتيجة الشمس للناحية الغربية 3 ^oC

ومعامل التوصيل الحراري الكلى (U) كما يلي:ـ

ـ الحوائط 2.4 W/ m^2 K

ـ الأرضية 0.6 W/ m^2 K

ـ الباب 2.0 W/ m^2 K

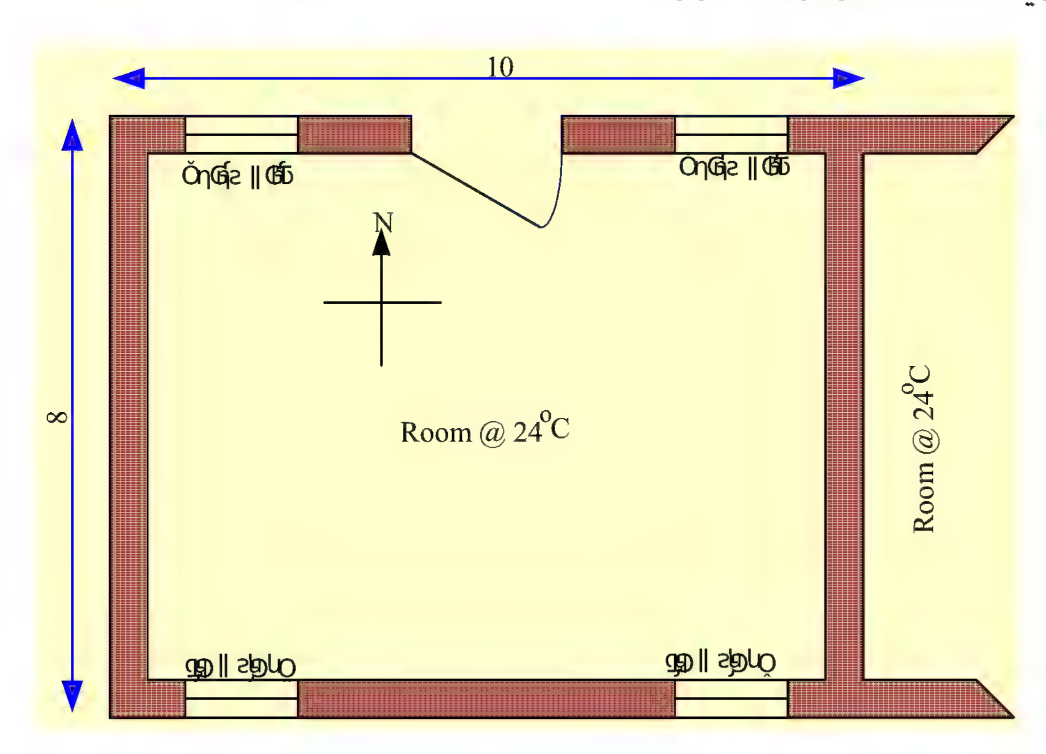
ـ الشبابيك 5.6 W/ m^2 K

ومعدل اكتساب الحرارة خلال الزجاج بالإشعاع لكل من:

الاتجــاه الغربي 300 W/m^2

الاتجــاه الجنوبي 200 W/m^2

احسب معدل انتقال الحرارة خلال الجدران مع إهمال انتقال الحرارة خلال السقف (لوجود غرفة في الدور العلوي منها عند نفس درجة الحرارة).



٧ - الرسم أدناه يوضح مكتبا يراد تكييفه. تم معرفة المعلومات الأولية التالية:

- أحوال المكتب الداخلية $24°C(db),50\%RH$
- الأحوال الخارجية $35°C(db),26°C(wb)$
- عدد شاغلي المكتب 30 شخصا
- الإضاءة 400 W
- ارتفاع السقف 3 m
- المبنى به 6 شبابيك زجاجية أبعاد كل منها $1.2m \times 3m$ و عدد 2 باب أبعادها كالآتي: $1.5m \times 3m$ من الناحية الشرقية و $1.5m \times 1.2m$ من الاتجاه الجنوبي كما في الرسم.
- المباني المجاورة والمبنى الذي يعلو المكتب عند درجة حرارة $30°C(db)$ بينما المبنى الذي تحت المكتب عند درجة حرارة $24°C(db)$
- معامل انتقال الحرارة الكلي كما يلي:-
  - الحوائط الخارجية $U = 1.6\ W/m^2K$
  - الحوائط الداخلية (بين المباني) $U = 2.5\ W/m^2K$

- السقف والأرضية $U = 1.5\ W/m^2K$
- الشبابيك الزجاجية $U = 3.2\ W/m^2K$
- الأبواب $U = 1.8\ W/m^2K$

بافتراض قيم مناسبة لتأثير الشمس ومعدلات التهوية، أوجد الحمل الكلي للمبنى.

أوجد الحمل الحراري للمبنى إذا كانت الأحوال الخارجية $10°C(db), 6°C(db)$ مع عمل أي افتراضات جديدة تراها مناسبة مع التعليل.

12 m

N

18 m

اختبار ذاتي

السـؤال الأول

ضع علامة (✓) للإجابة الصحيحة وعلامة (×) للإجابة الخاطئة:

أ) الهواء الجوي عبارة عن % 80 أكسجين و % 20 نيتروجين ( )

ب) عند تسخين الهواء الرطب تزداد رطوبته النسبية ( )

ج) الرطوبة النسبية المنخفضة للهواء تساعد على تبخر العرق من الجسم ( )

د) هواء عند $35°C(db),30\%\,RH$ تم تبريده إلى $12°C(db),10°C(wb)$ اذن يحدث عندئذٍ تكثف لبخار الماء ( )

هـ) الستائر على المساحات الزجاجية تزيد من عملية انتقال الحرارة للمبني .

و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما شتاء كلما قل حمل التسخين للمبني ( )

ز) هواء جوي عند $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ والحرارة الجافة هي $10°C$ ( )

ح) كلما زادت درجة حرارة الهواء ، كلما زاد حجمه النوعي ( )

ط) معامل التلامس لملف التبريد يعتمد على نوعية ملف التبريد فقط ( )

ك) عملية الترطيب بالبخار تقريبياً مع ثبوت درجة الحرارة الجافة ( )

السـؤال الثاني

وحدة مناولة هواء (AHU) تتكون من مرطب بخار وملف تسخين على التو إلى . الحمل المحسوس للحيز هو 40 kW ومعامل الحرارة المحسوس للحيز يساوي %80.تم خلط %60 من الهواء الراجع مع %40 من الهواء النقي . تم إعطاء المعلومات التالية:

- الأحوال الداخلية $25°C(db),\ 50\%\,RH$
- الأحوال الخارجية $10°C(db),6°C(wb)$
- درجة حرارة هواء التغذية للغرفة عند الأحوال الداخلية $35°C(db)$

مستعملا المعلومات المعطاة ، ارسم العمليات المذكورة على الخريطة السيكرومترية ومن ثم أوجد :

(i) ـ معدل سريان هواء التغذية للغرفة

(ii) ـ سعة ملف التسخين

(iii) ـ كمية بخار الترطيب

السـؤال الثالث

مكتب أبعاده $6m \times 5m \times 3m$ ، به عدد 2شباك زجاجي مساحة كل شباك $3m \times 2m$ وباب خشبي واحد أيضاً أبعاده $1.5m \times 2m$ (كما في الرسم المرفق). المكتب به عدد 10 أشخاص وكمية الحرارة الكلية الناتجة من الشخص الواحد هي 132 W. إضاءة المكتب تتم عن طريق 16 لمبة فلورسنت قدرة كل لمبة 50 W. معدل تغير الهواء للمكتب ACH=2. أحوال التصميم الداخلية هي $25°C(db), 50\% RH$ بينما أحوال التصميم الخارجية هي $10°C(db), 6°C(wb)$. المكتب المجاور عند درجة حرارة $26°C(db)$.

- معامل انتقال الحرارة الكلي لمواد بناء الغرفة هي :

- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للحوائط $1.6\ W/m^2\ K$
- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للمساحات الزجاجية $3.2\ W/m^2\ K$
- ♦ معامل انتقال الحرارة الكلي للباب الخشبي $1.8\ W/m^2\ K$

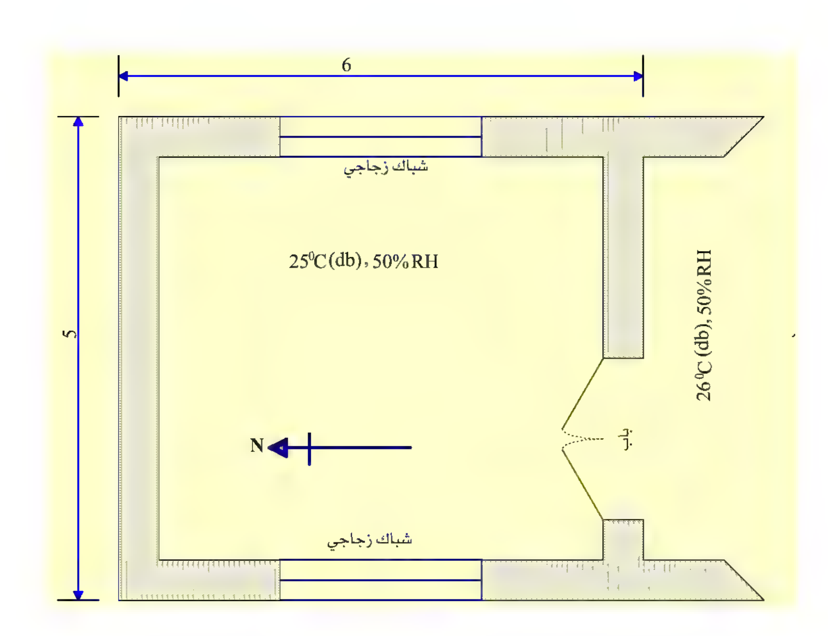
احسب الآتي:

أ ـ اوجد حمل الحوائط الرأسية بما في ذلك الشباك الزجاجي والباب باعتبار فرق درجات الحرارة

ب ـ حمل الأشخاص

ج ـ حمل الاضاءة

د ـ حمل التهوية .



الحل:

السـؤال الأول

ضع علامة (✓) للإجابة الصحيحة وعلامة (×) للاجابة غير الصحيحة :

أ) ـ الهواء الجوي عبارة عن % 80 أكسجين و % 20 نيتروجين (×)

ب) عند تسخين الهواء الرطب تزداد رطوبته النسبية (×)

ج) ـ الرطوبة النسبية المنخفضة للهواء تساعد على تبخر العرق من الجسم (✓)

د) هواء عند $35°C(db),30\% RH$ تم تبريده إلى $12°C(db),10°C(wb)$ إذن يحدث عندئذٍ تكثف لبخار الماء (✓)

هـ) الستائر على المساحات الزجاجية تزيد من عملية انتقال الحرارة للمبنى (×).

و) كلما زاد عدد الأشخاص لحيز ما شتاء كلما قل حمل التسخين للمبنى (✓)

ز) هواء جوي عند $12°C,10°C$ ، عليه تكون درجة الحرارة الرطبة هي $12°C$ والحرارة الجافة هي $10°C$ (×)

ح) كلما زادت درجة حرارة الهواء ، كلما زاد حجمه النوعي (✓)

ط) معامل التلامس لملف التبريد يعتمد على نوعية ملف التبريد فقط (×)

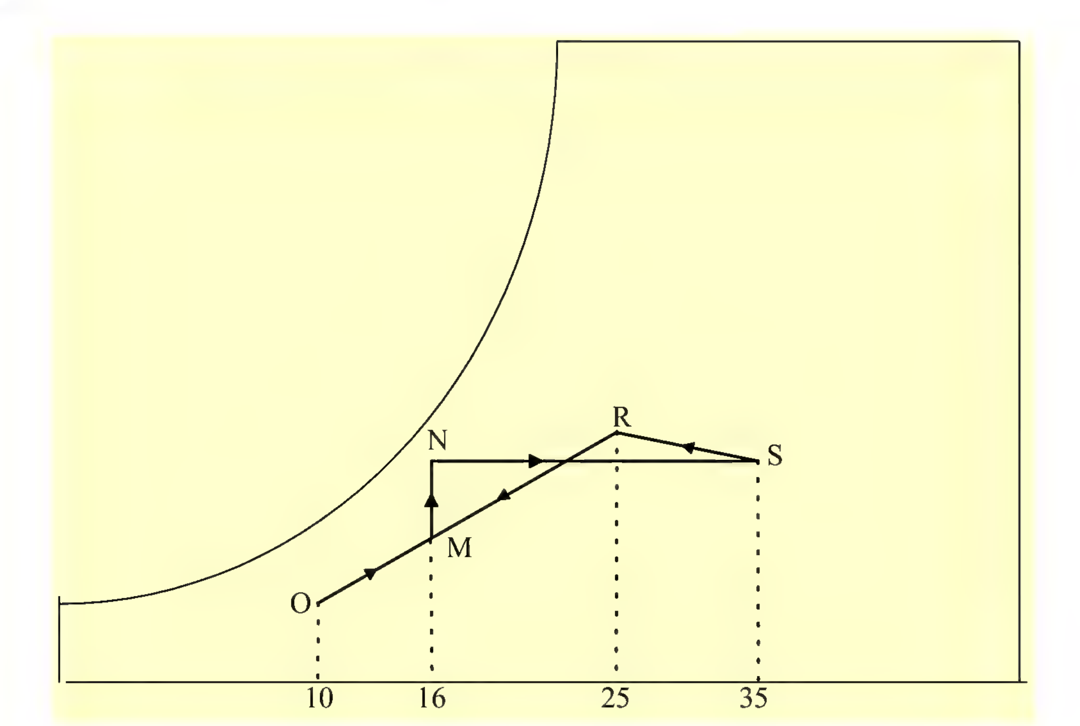
ك) عملية الترطيب بالبخار مع ثبوت درجة الحرارة الجافة (✓)

السـؤال الثاني

لإيجاد درجة الحرارة الجافة لنقطة الخلط من المعادلة التالية:

$$T_M = \frac{\dot{m}_O T_O + \dot{m}_R T_R}{\dot{m}_O + \dot{m}_R}$$
$$= \frac{0.4 \times 10 + 0.6 \times 25}{0.4 + 0.6}$$
$$= 16\ °C$$

عليه يمكن تحديد النقطة M بين النقطتين O و R وبقيمة درجة الحرارة الجافة للنقطة M تساوي $16°C$ بعدها يتم رسم SHF وبقيمة 0.8 من النقطة R إلى النقطة S(عند درجة الحرارة الجافة $35°C$ كما موضح في السؤال)



الخط NS يمثل التسخين المحسوس والخط MN عملية ترطيب بالبخار تقريباً

عليه يكون الشكل كالتالي:

من الشكل السابق نجد إن :

$h_N = 39.5\, kJ/kg$ $\qquad$ $h_s = 58.5\, kJ/kg$

$w_M = 0.0065\, kg/kg$ $\qquad$ $w_N = 0.0092\, kg/kg$

معدل سريان هواء التغذية $(\dot{m})$

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T}$$
$$= \frac{40}{1 \times 10} = 4\, kg/s$$

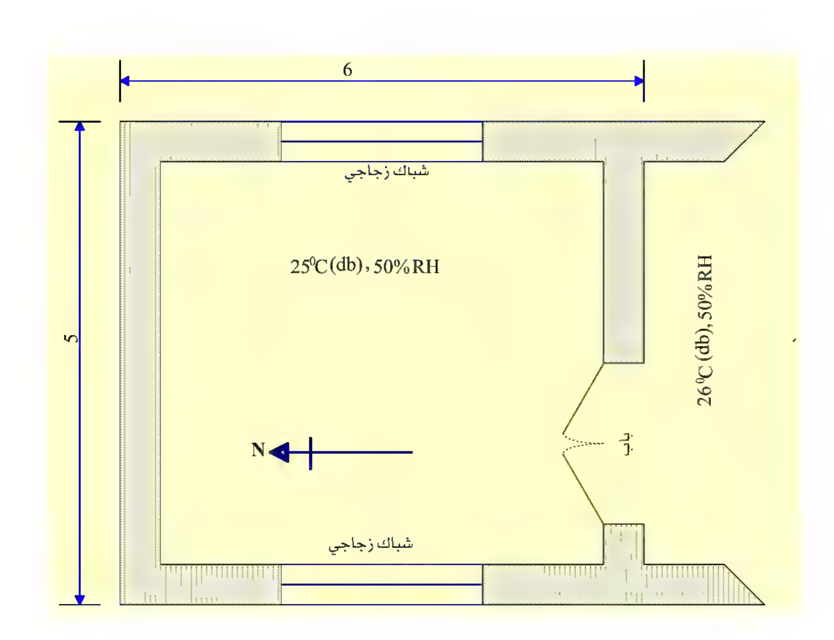
سعة ملف التسخين (Q_{hc})

$$Q_{hc} = \dot{m}\Delta h = \dot{m}(h_S - h_N)$$
$$= 4 \times (58.5 - 39.5)$$
$$= 76\ kW$$

كمية ماء الترطيب $(\dot{m}_w)$

$$\dot{m}_w = 3600\dot{m}(w_N - w_M)$$
$$= 3600 \times 4 \times (0.0092 - 0.0065)$$
$$= 38.88 \ L/hr$$

السـؤال الثالث



أ ـ أحمال الحوائط الرأسية

المعادلة : $$Q_w = \sum AU\Delta T$$

$$\Delta T = T_o - T_i$$

البيان /الاتجاه	A m^2	U $W/m^2\,K$	ΔT $°C$	Q_w W	Q_w W
الحوائط					
الشمال	15	1.6	-15	-360	
الجنوب	12	1.6	01	19.2	
الشرق	12	1.6	-15	-288	
الغرب	12	1.6	-15	-288	
					-916.8
الشبابيك الزجاجية					
الشرق	6	3.2	-15	-288	
الغرب	6	3.2	-15	-288	
					-576
الأبواب					
الجنوب	3	1.8	-15		-81
					-1573.8

انتقال الحرارة من الخارج إلى داخل الغرفة $Q_w = 1573.8W \approx 1.574\ kW$

حمل الأشخاص (Q_p)

$$Q_p = N \times q_p$$
$$= 10 \times 132$$
$$= 1320W \quad = 1.320\ kW$$

حمل الإضاءة (Q_L)

$$Q_L = N \times F \times P$$
$$= 16 \times 1.25 \times 50$$
$$= 1000\ W \quad = 1.000\ kW$$

حمل التهوية (Q_v)

حجم الغرفة
$$V = 6 \times 5 \times 3$$
$$= 90\, m^3$$

من الخريطة السيكرومترية

الحجم النوعي للهواء التغذية (هواء خارجي) $v_0 = 0.806\, m^3 / kg$

طاقة الإنثالبي الداخلية والخارجية $h_O = 20\ kJ / kg$ $h_R = 50.5\ kJ / kg$

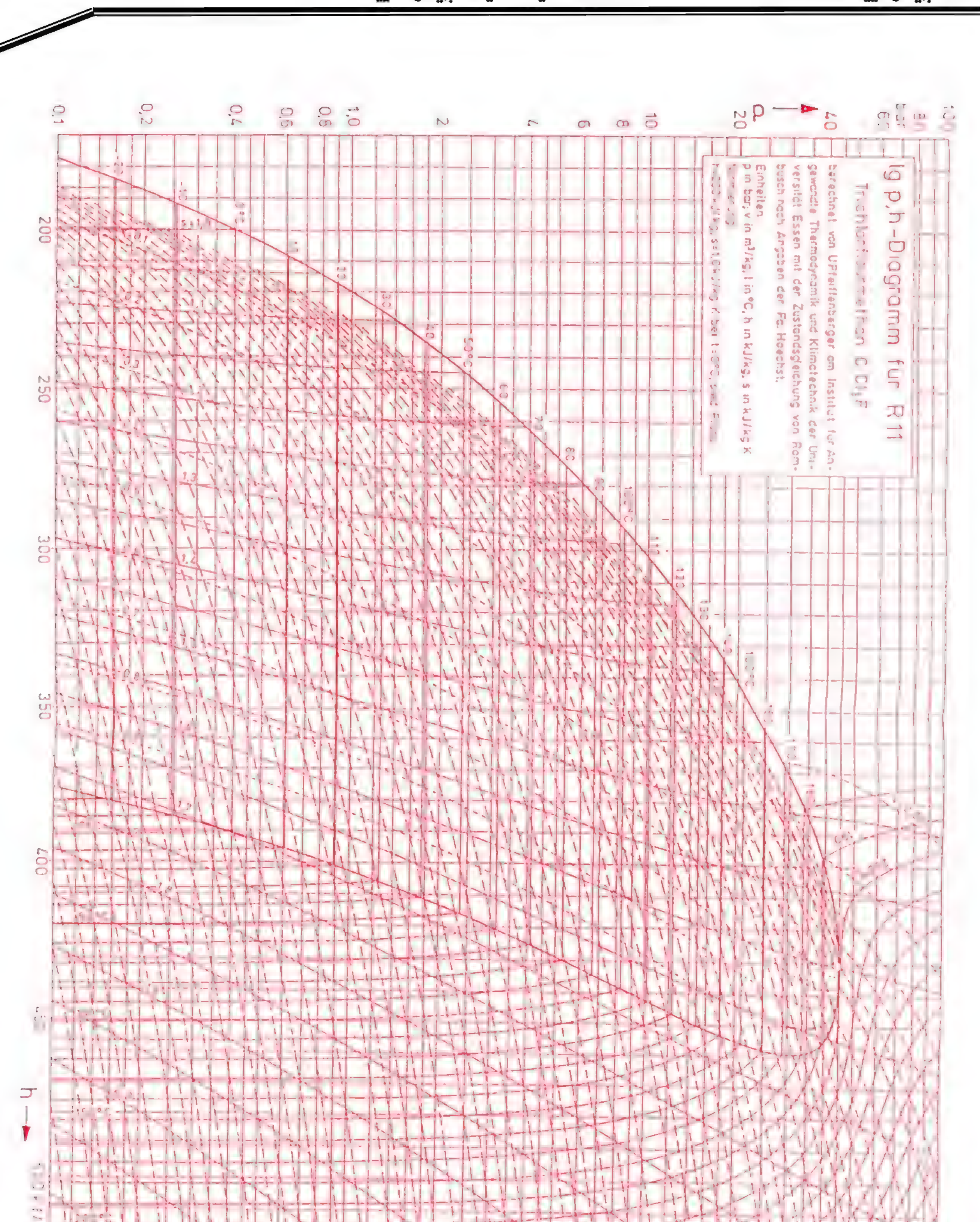
معدل سريان هواء التهوية $(\dot{m})$

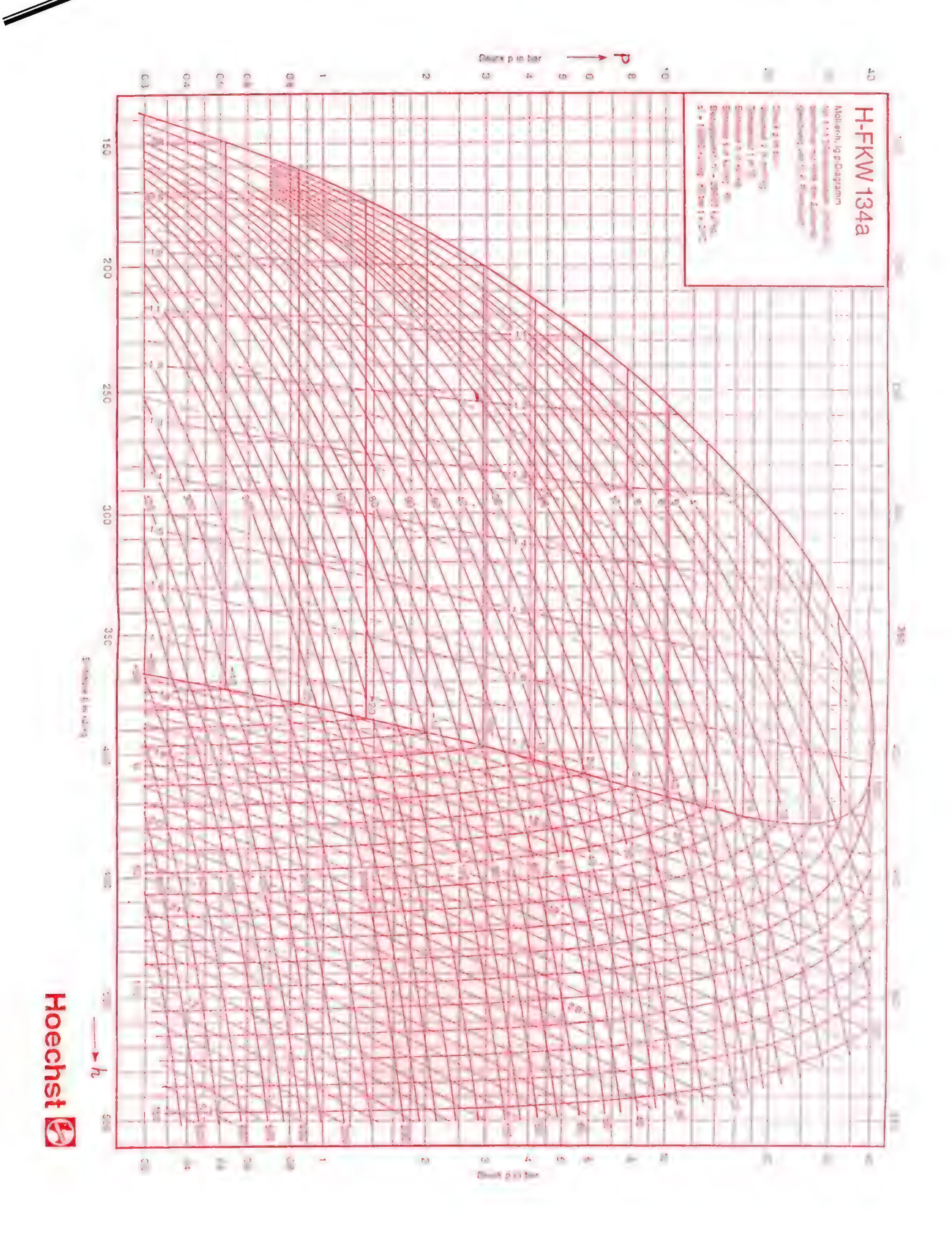
$$\dot{m} = \frac{V}{3600 v_O}$$
$$= \frac{90}{3600 \times 0.806}$$
$$= 0.031\ kg / s$$

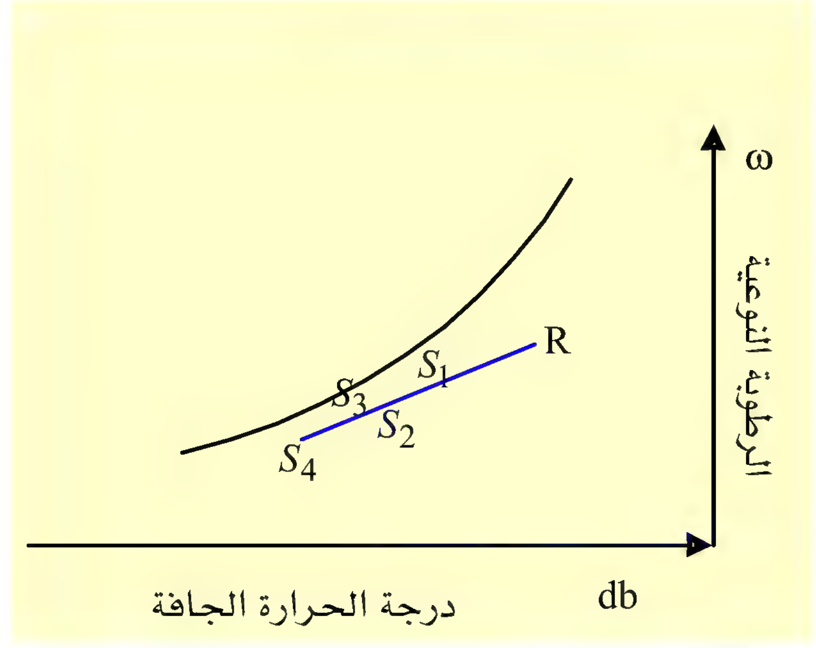
حمل التهوية

$$Q_v = \dot{m}(h_O - h_R)$$
$$= 0.031(20 - 50.5)$$
$$= -0.9455\ kW$$

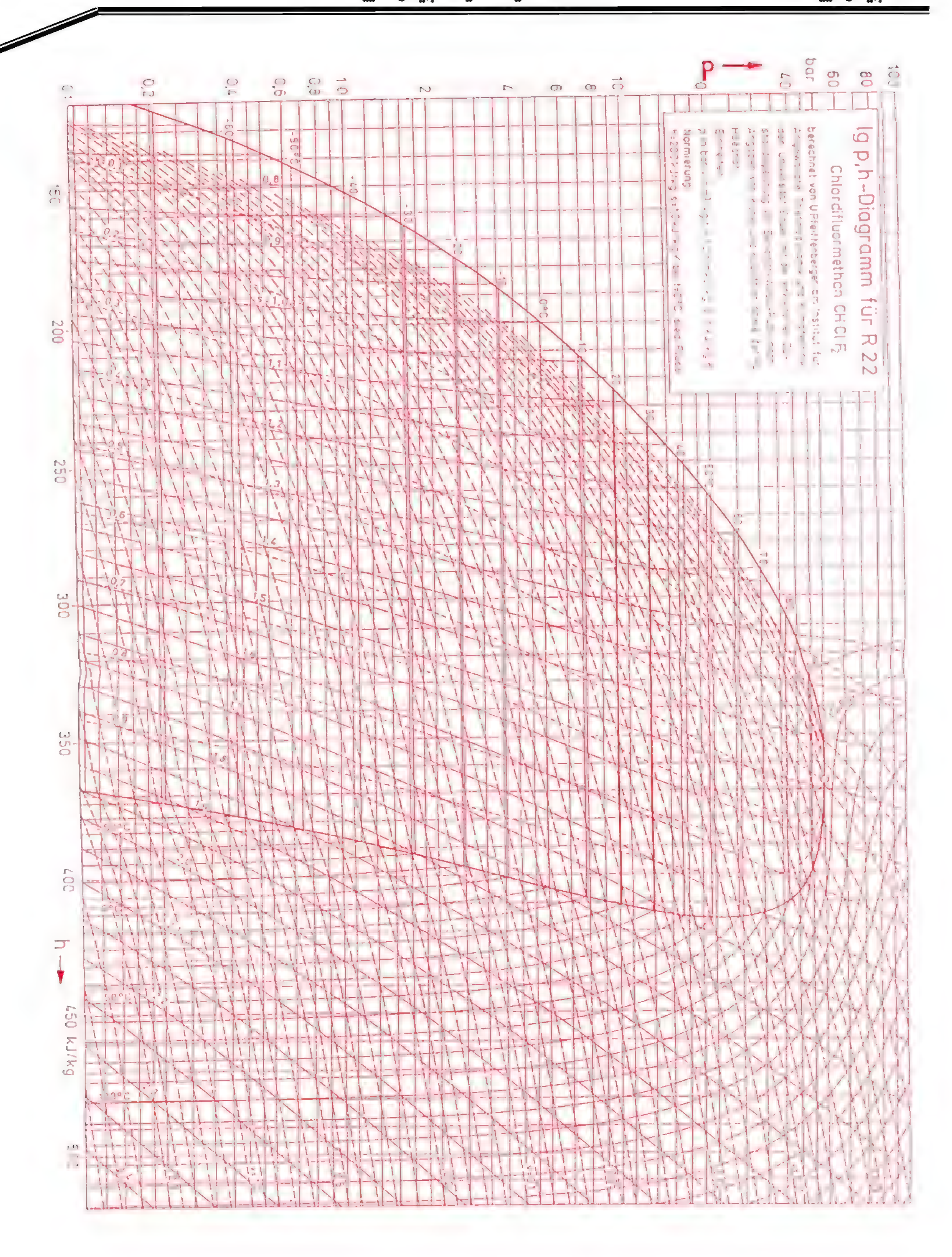
(إشارة السالب تعني إن الحرارة منتقلة من الخارج إلى الداخل وليس العكس)


lg p,h-Diagramm fur R11

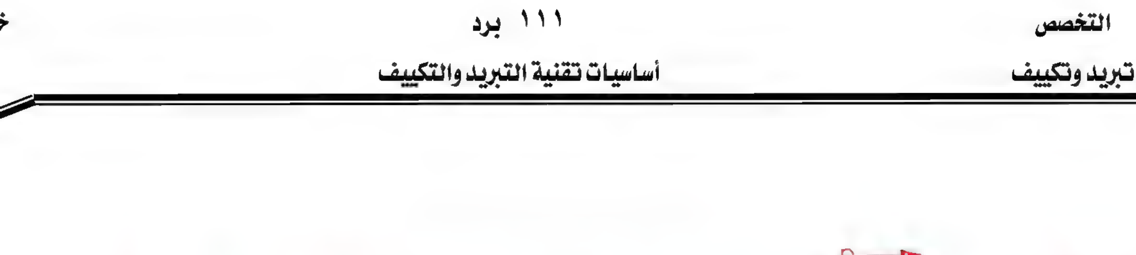

H-FKW 134a
Hoechst



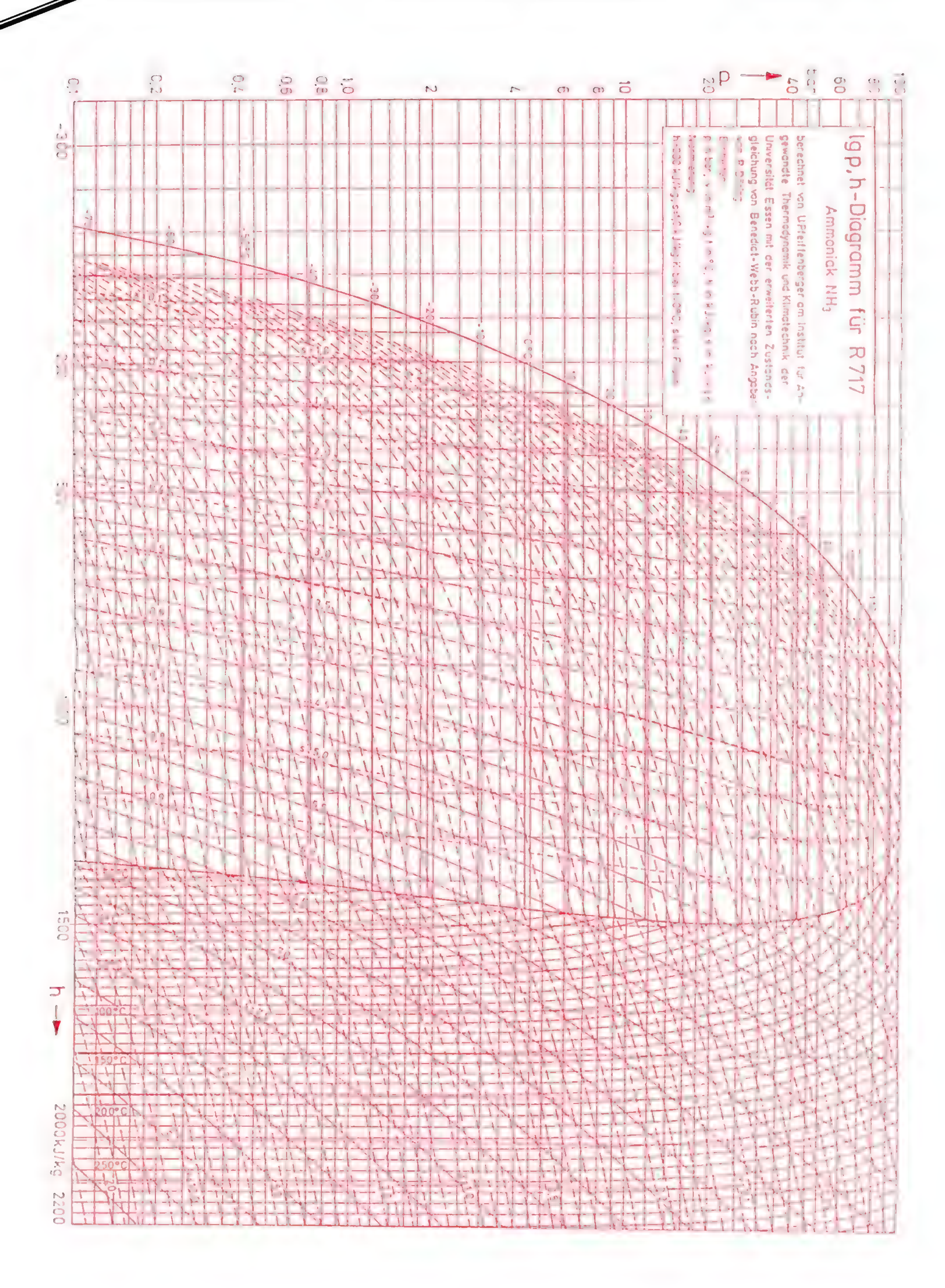
شكل (2 – 21): خط معامل الحرارة المحسوس للغرفة

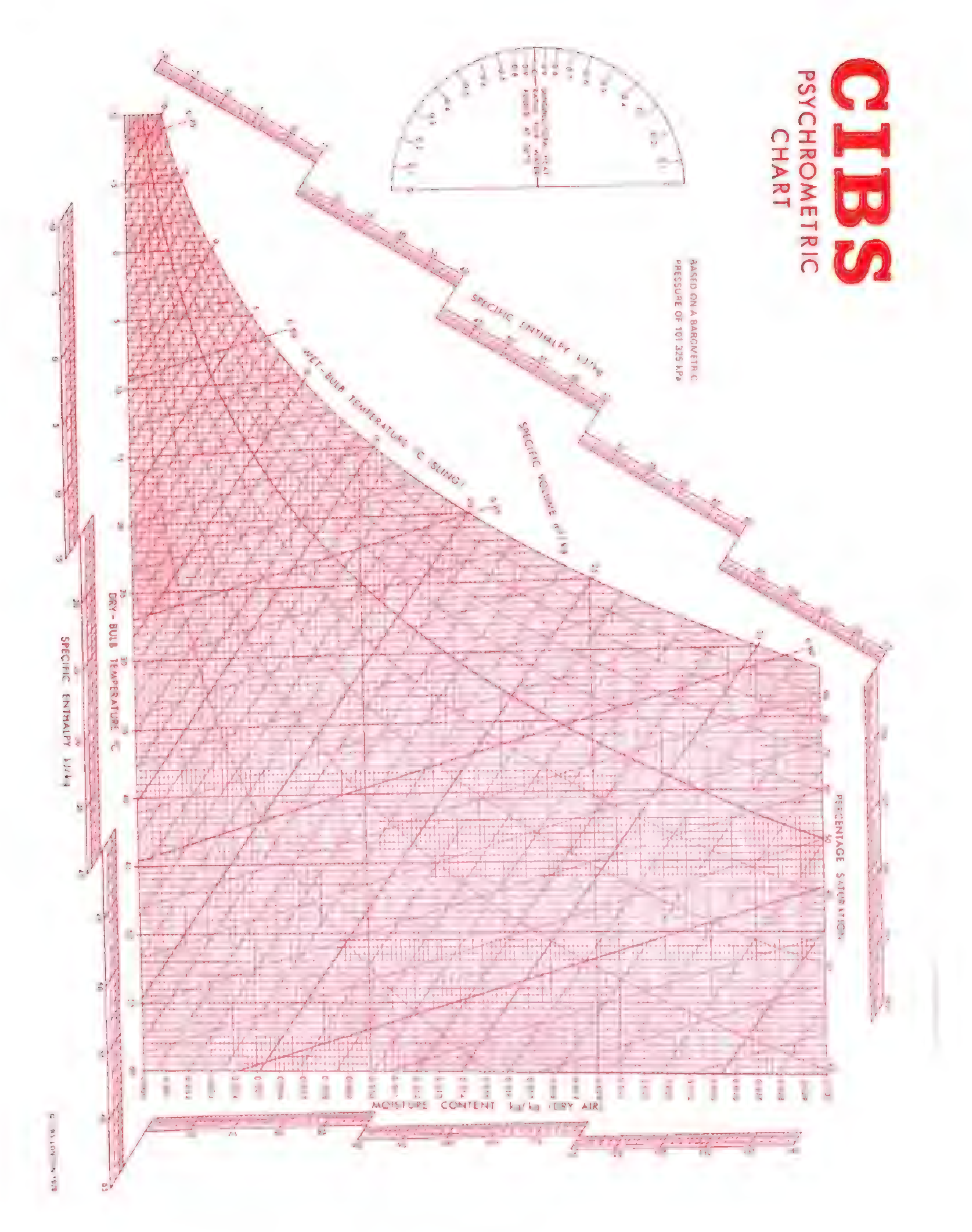


lg p,h-Diagramm für R 22
Chlordifluormethan CHClF2
p
bar
h
450 kJ/kg



lgp,h-Diagramm für R 502


lgp,h-Diagramm für R 717
Ammoniak NH_3
berechnet von U.Pfeiffenberger am Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität Essen mit der erweiterten Zustandsgleichung von Benedict-Webb-Rubin
p
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
2
4
6
8
10
20
40
60
h
1500
2000kJ/kg
2200
100°C
150°C
200°C
250°C



CIBS
PSYCHROMETRIC CHART
BASED ON A BAROMETRIC PRESSURE OF 101.325 kPa
SPECIFIC ENTHALPY kJ/kg
WET-BULB TEMPERATURE °C (SLING)
SPECIFIC VOLUME m³/kg
DRY-BULB TEMPERATURE °C
SPECIFIC ENTHALPY kJ/kg
PERCENTAGE SATURATION
MOISTURE CONTENT kg/kg DRY AIR

REFERENCES

م المرجع

١. د. رمضان أحمد محمود، ١٩٨٧ (تكييف الهواء -مبادئ وتطبيقات) كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية ، منشأة المعارف بالإسكندرية

٢. د. رمضان أحمد محمود، ١٩٨٧ (تكييف الهواء -مسائل محلولة) كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف بالإسكندرية

٣. . رمضان أحمد محمود، ١٩٨٣ (التبريد - مبادئ وتطبيقات) كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف بالإسكندرية

٤. . رمضان أحمد محمود، ١٩٨٣ (أنظمة التبريد - مبادئ - مسائل محلولة) كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية، منشأة المعارف بالإسكندرية

٥. سي.تي.كوزلنج، ترجمة د. حسن خصاف و م. رامز فرج بابو اسحق، ١٩٨٥ (تكييف الهواء ولتبريد التطبيقي) الجامعة التكنولوجية، مركز التعريب والنشر، بغداد.

٦. V. Paul Lang,1987 "Principles of Air Conditioning", 4th Edition , Delmar.

٧. Roy J.Dossat,1997"Principles of Refrigeration",4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio

٨. T.D. Eastop & A.McConkey, 1996 "Applied Thermodynamics for Engineering Technologist" 5th Edition, Longman.

٩. Edward G. Pita, 1998 "Air Conditioning Principles And Systems" 3rd. Edition, Prentice Hall, New Jersey, Columbus, Ohio.

١٠. Edward G. Pita, 1981 "Air Conditioning Principles And Systems: An Energy Approach" 3rd. Edition, John Willey & Sons, Inc.

١١. W. P Jones, 1997 "Air Conditioning Applications And Design" 2nd Edition, John Willey & Sons, Inc. New York-Toronto.

١٢. Whitman. Johnson & Tomczyk, 2000 "Refrigeration And Air Conditioning Technology" 4th Edition, Delmar.

١٣. Althouse. Turnquist. Bracciano, 1996 "Modern

Refrigeration And Air Conditioning" The Goodheart-Willcox Company, Inc.

١٤. Faye & Parker, 1994 "Heating, Ventilating And Air Conditioning" Analysis & Design. 4th Edition, , John Willey & Sons, Inc.

١٥. Shan. K. Wang, 1994 "Handbook Of Air Conditioning And Refrigeration" McGraw-Hill.

١٦. William C. Whitman, William M. Johnson, 1988"Refrigeration and Air Conditioning Technology , Concepts, Procedures and Troubleshooting Techniques", Revised Edition, Delmar.

مصطلحات ورمـــوز

Mass flow rate	kg/s	$\dot{m}$	معدل السريان
mass	kg	m	الكتلة
Condensed water	kg/s	$\dot{m}_w$	كمية ماء التكثيف/ الترطيب
Air mass flow rate	kg/s	$\dot{m}_a$	معدل سريان الهواء
Total pressure	Pa	p	الضغط
Pressure difference	Pa	Δp	فرق الضغط
Air pressure	Pa	p_a	ضغط الهواء
Vapor pressure	Pa	p_v	ضغط بخار الماء
Evaporator pressure	Pa	p_e	ضغط المبخر
Condenser pressure	Pa	p_c	ضغط المكثف
Universal gas constant	$J/Kmole-kg$	$\bar{R}$	الثابت العام للغازات
Specific Gas constant	J/kgK	R	الثابت الخاص للغاز
Specific heat	J/kgK	c_p	الحرارة النوعية
Compression work	W	W_c	شغل الانضغاط
Evaporator load	W	Q_e	حمل المبخر
Cooling coil capacity	W	Q_{cc}	حمل ملف التبريد
Heating coil capacity	W	Q_{hc}	حمل ملف التسخين
Condenser heat transfer	W	Q_c	الحرارة المفقودة من المكثف
Sensible heat load	W	Q_s	معدل حمل الحرارة المحسوسة
latent heat load	W	Q_l	معدل حمل الحرارة الكامنة
Refrigeration effect	J/kg	RE	التأثير التبريدي
Coefficient of performance	-	COP	معامل الأداء
Air vlome	m^3	V_a	حجم الهواء
Vapor volume	m^3	V_v	حجم بخار الماء

Air temperature	K	T_a	درجة حرارة الهواء
Vapor temperature	K	T_v	درجة حرارة البخار
Dry bulb temperature	$°C$	T_{db}	درجة الحرارة الجافة
Wet bulb temperture	$°C$	T_{wb}	درجة الحرارة الرطبة
Relative humidity	%	RH	الرطوبة النسبية
Specific humidity	kg/kg	ω	الرطوبة النوعية
Total load	W	Q_t	الحمل الكلي
Ton of Refrigeration	TR	TR	طن التبريد
Wall gains (conductive heat gains)	W	Q_c	حمل الجدران(حمل التوصيل)
Radiation load	W	Q_r	حمل الاشعاع
Heat gains from people	W	Q_p	حمل الأشخاص
Heat gains from lghts	W	Q_l	حمل الاضاءة
Ventilation load	W	Q_v	حمل التهوية
Heat gains from equipment	W	Q_e	حمل الأجهزة
Miscellaneous loads	W	Q_m	أحمال مختلفة
Specific heat factor	-	SHF	معامل الحرارة المحسوس
Overall heat transfer coefficient	W/m^2K	U	معامل التوصيل الحراري الكلي
Room or space temperature	$°C$	T_R	درجة حرارة الغرفة أو الحيز المكيف
Internal temperature	$°C$	T_i	درجة الحرارة الداخلية
Outside temperature	$°C$	T_o	درجة الحرارة الخارجية
Supply air temperature	$°C$	T_S	درجة حرارة هواء التغذية
Temperature difference	$°C$	ΔT	فرق درجات الحرارة
Radiation intensity	W/m^2	I	شدة الاشعاع

Absorptivity factor	-	α	معامل الامتصاص
Internal heat transfer coefficient	W/m^2K	h_i	معامل انتقال الحراري الداخلي
External heat transfer coefficient	W/m^2K	h_o	معامل انتقال الحراري الخارجي
Enthalpy	kJ/kg	h	طاقة الانثالبي
Shading coefficient	-	SC	معامل التظليل
Ventilation load - sensible	W	Q_{vs}	حمل التهوية المحسوس
Ventilation load - latent	W	Q_{vl}	حمل التهوية الكامنة
Specific volume@ outside conditions	m^3/kg	v_o	الحجم النوعي عند الأحوال الخارجية
Latent heat of vaporization	kJ/kg	h_{fg}	الحرارة الكامنة للتبخير
volume	m^3	V	الحجم
Discharge (volume flow rate)	m^3s^{-1}	Q	معدل السريان الحجمي
number	-	n, N	عدد
Lamps factor	-	F	معامل اللمبات
Diversity factor	-	DF	معامل التباين
efficiency	-	η	الكفاءة
Saturation efficiency	-	η_s	كفاءة التشبع
Contact factor	-	η	معامل التلامس لملف التبريد
Air change per hour	hr^{-1}	ACH	معدل تغيير الهواء في الساعة
Entropy	J/kgK	S, s	الانتروبي
Cooling load	W	CL	حمل التبريد
Dryness factor	-	x	معامل الجفاف
Horsepower	hp	hp	قدرة الحصان

الموضوع	الصفحة
الوحدة التدريبية الأولى : أساسيات تقنية التبريد	١
مقدمة	١
الفصل الأول: جداول وخرائط وسائط التبريد	٣
خلاصة	١٧
تمارين	١٨
الفصل الثاني: دورة انضغاط البخار البسيطة	٢٠
مكونات دائرة التبريد الميكانيكية	٢١
دورة انضغاط البخار البسيطة	٢٣
أداء دورة انضغاط البخار البسيطة	٢٦
أمثلة محلولة	٢٨
الخلاصة	٣٩
تمارين	٤٠
الفصل الثالث: وسائط التبريد	٤٣
وسائط التبريد الأولية	٤٤
اختيار وسائط التبريد	٦٣
أداء وسائط التبريد	٦٤
الكلوروفلوروكربونات وطبقة الأوزون	٦٥
وسائط التبريد البديلة	٦٧
المحاليل الملحية	٦٩
الخلاصة	٧٠
تمارين	٧١
اختبار ذاتي	٧٣
الوحدة التدريبية الثانية : أساسيات تقنية تكييف الهواء (نظري)	٨١
مقدمة	٨١
الفصل الأول: السيكرومترية	٨٣
العمليات السيكرومترية	٩٥

الفصل الثاني: الأحمال الحرارية ١٢٠
تخمين الأحمال الحرارية ١٢٤
ظروف التصميم ١٢٥
حسابات أحمال التبريد ١٢٨
حسابات أحمال التسخين ١٥٥
الخلاصة ١٦٠
تمارين ١٦١
خرائط ١٧١
المراجع ١٧٨
مصطلحات ورموز ١٨١

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS